



TUGAS AKHIR - MM091381

**ALTERNATIF BARU PENGEMBANGAN MATERIAL
SEMEN TULANG/BONE CEMENT [CH-(C-HA)-CaCO₃-
MMA] HASIL DAUR ULANG LIMBAH ORGANIK**

**TUTUT UMMUL HABIBAH
NRP 2711 100 087**

**Dosen Pembimbing:
Yuli Setiyorini, ST, M.Phil
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**



FINAL PROJECT - MM091381

**NOVEL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF
BONE CEMENT [CH-(C-HA)-CaCO₃-MMA] FROM BIO
WASTE MATERIALS**

TUTUT UMMUL HABIBAH
NRP 2711 100 087

Supervisor Lecturers :
Yuli Setiyorini, ST, M.Phil
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

**ALTERNATIF BARU PENGEMBANGAN MATERIAL
SEMEN TULANG/BONE CEMENT [CH-(C-HA)-CaCO₃-
MMA] HASIL DAUR ULANG LIMBAH ORGANIK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Mempolch
Gelar Sarjana Teknik**

Pada

Bidang Studi Material Inovatif

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

TUTUT UMMUL HABIBAH

NRP. 2711 100 087

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir :

Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil

(pembimbing 1)

Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

Meng

(pembimbing 2)

ALTERNATIF BARU PENEMBANGAN MATERIAL SEMEN TULANG/BONE CEMENT [CH-(C-HA)-CaCO₃- MMA] HASIL DAUR ULANG LIMBAH ORGANIK

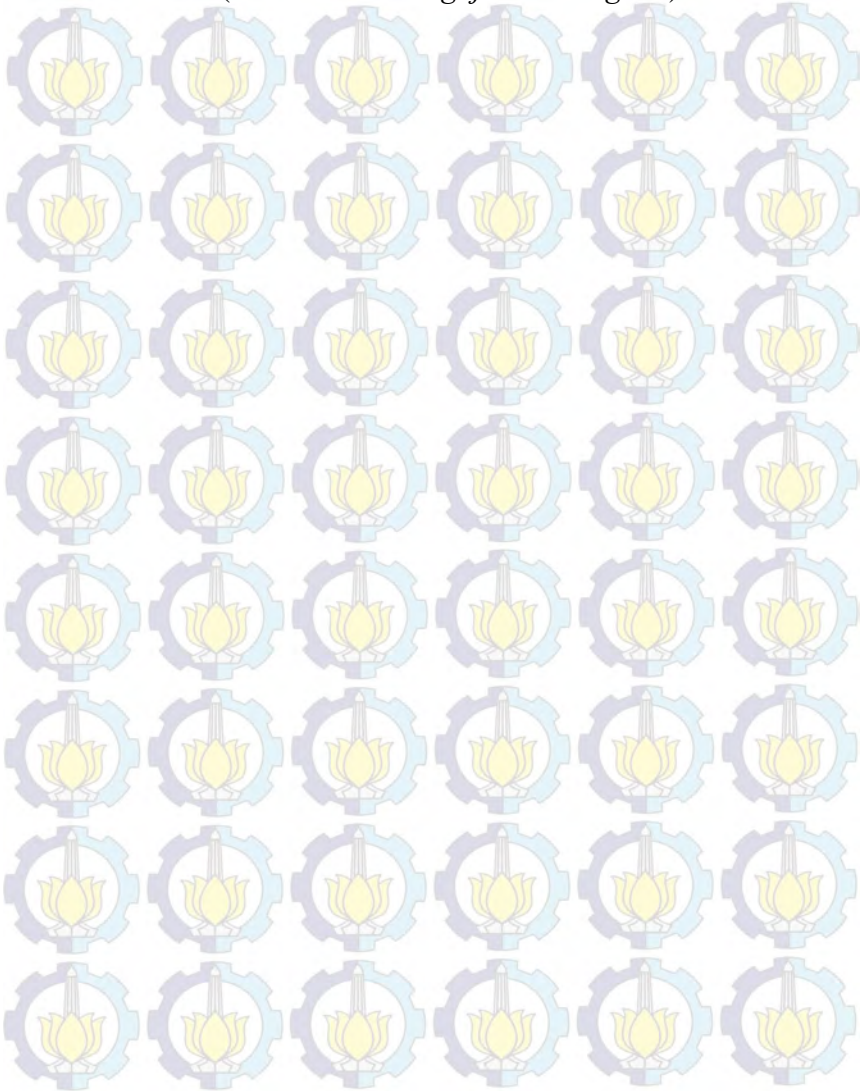
Nama : Tutut Ummul Habibah
NRP : 2711100087
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng

Abstrak

Pengembangan semen tulang yang bersifat lebih adaptif terhadap metabolisme tubuh merupakan hal yang sangat penting dalam dunia orthopedic. Penggunaan bahan dasar semen tulang yang bersifat *biodegradable* seperti chitosan, karbonat-hidroksiapatit, dan karbonat [C-(C-HA)-CaCO₃] yang diproduksi dari limbah organik serta MMA sebagai resin merupakan suatu langkah agar proses osteokonduksi dan osteointegrasi dapat berjalan lebih efisien. Hasil analisa menunjukkan bahwa ketiga sample C2H1K3L, C2H24K24L dan C2H3K1L memiliki nilai zona halo inhibiton lebih tinggi dari standar pada umumnya (1mm) dengan panjang masing-masing sebesar 7.7mm, 14.2mm dan 7.5mm, selain itu ketiga kandidat memiliki nilai konduktivitas thermal yang aman bagi tubuh sebesar 0.30 mW/°C, 0.25 mW/°C, 0.30 mW/°C pada temperatur 37°C dan 0.44 mW/°C, 0.49 mW/°C, 0.40 mW/°C pada temperatur 45°C. Penambahan rasio CaCO₃ akan menyebabkan semen tulang memiliki nilai kekerasan yang sesuai dengan kekerasan tulang manusia sebesar 36.84 HV (C2H1K3L) dan terbentuknya pori interkoneksi yang akan mendukung terjadinya pertumbuhan jaringan tulang secara lebih efisien.

Kata kunci : chitosan, karbonat-hidroksiapatit, karbonat, MMA, semen tulang

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



NOVEL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF BONE CEMENT [CH-(C-HA)-CaCO₃-MMA] FROM BIO WASTE MATERIALS

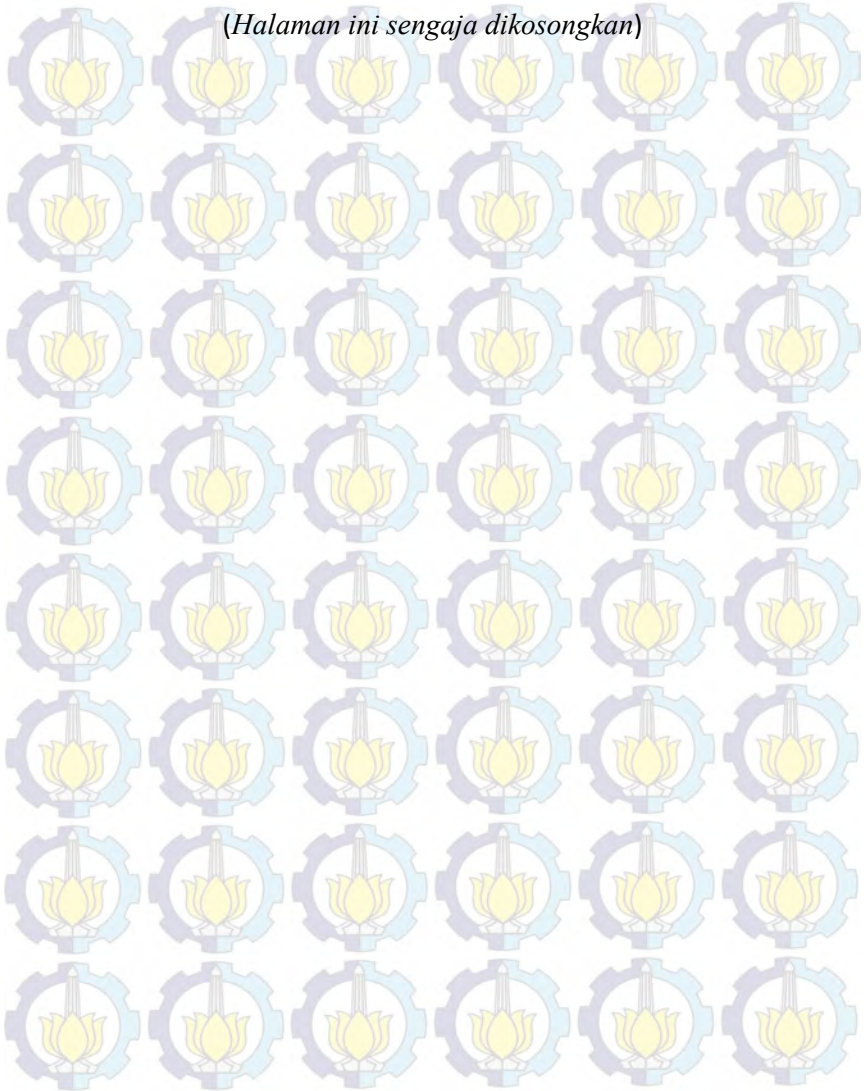
Name : Tutut Ummul Habibah
NRP : 2711100087
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Supervisor Lecturer : Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil
 Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng

Abstract

Nowadays, development in more adaptable bone cement in human body reaches the important place in orthopedic field. The usage of more biodegradable materials such as chitosan, carbonated-hydroxyapatite, calcium carbonate which was produced from bio waste materials and MMA as a resin is the most potential way to lead osteointegration and osteoconduction to occurs, which could make healing and recovery process more efficient. The results depicted that the three samples C2H1K3L, C2H24K24L and C2H3K1L had greater of halo inhibition zone referred than particular standart (1mm) for 7.7mm, 14.2mm, and 7.5 mm respectively. The three candidates have lower thermal conductivity than human bone for 0.30 mW/°C, 0.25 mW/°C, 0.30 mW/°C respectively at 37°C and 0.44 mW/°C, 0.49 mW/°C, 0.40 mW/°C at 45°C. Interconnected porous and successfully mimicking bone hardness by C2H1K3L (36.84 HV) were produced by increasing ratio of CaCO₃ in composition. Generally, all the samples were promising candidates as a bone cement because of their ability to provide properties which could support for bone tissue regeneration.

Keywords : bone cement, chitosan, carbonated-hydroxyapatite, carbonate, MMA.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)





KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat, taufik dan hidayah-Nya, penyusunan skripsi yang berjudul “*Alternatif Baru Pengembangan Material Semen Tulang/Bone Cement [CH-(C-HA)-CaCO₃-MMA] Hasil Daur Ulang Limbah Organik*” dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, kerjasama dari berbagai pihak, kendala-kendala yang dihadapi tersebut dapat diatasi. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada kedua orang tua penulis, Bapak Anton S. dan Ibu S. Rohmah serta kakak penulis, Eka atas kasih sayang tanpa batas yang telah diberikan, kepada Ibu Yuli Setiyorini, S.T., M.Phil. selaku pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah dengan sabar, memberikan bimbingan yang sangat berharga kepada penulis, kepada teman-teman penulis : Irfa, Ramzy, Diana, Anggun, Stella, Sylwia, Rasha, Stefan, Epri atas dukungan dan senyum yang tiada henti.

Surabaya, Januari 2015

Penulis



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Semen Tulang.....	5
2.2 Chitin.....	9
2.2.1 Aplikasi Chitosan dalam Semen Tulang.....	11
2.3 Chitosan.....	13
2.3.1 Aplikasi Chitosan dalam Semen Tulang.....	14
2.4 Apatit.....	17
2.4.1 Aplikasi Apatit dalam Semen Tulang	18
2.5 Semen Tulang Komersial.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Bahan	25
3.2 Peralatan.....	27

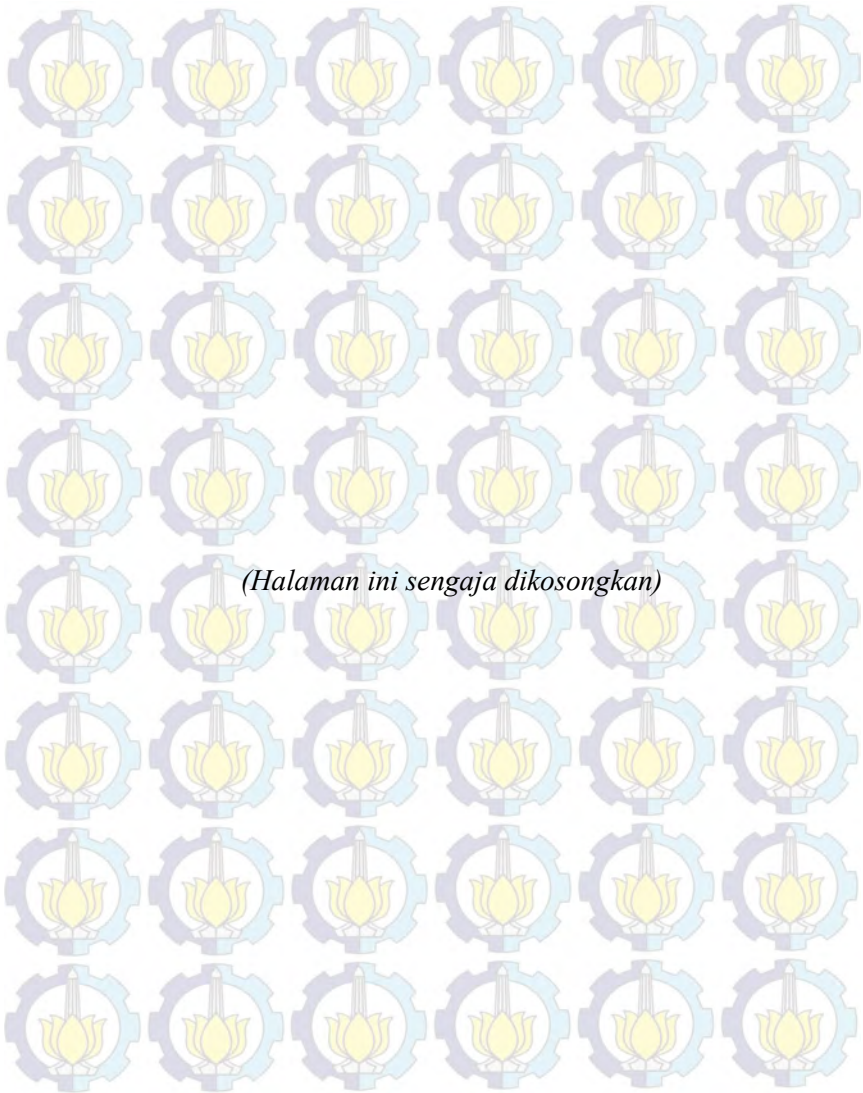


	3.3 Analisa dan Karakterisasi.....	28
	3.4 Diagram Alir Penelitian.....	31
	3.5 Rancangan Penelitian.....	33
BAB IV	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
	4.1 Analisa Komposisi Kimia.....	37
	4.2 Analisa Gugus Fungsi.....	39
	4.3 Analisa Morfologi Semen Tulang.....	40
	4.4 Analisa Penyebaran Unsur Kimia Dalam Semen Tulang.....	46
	4.3 Analisa Sifat Thermal Semen Tulang.....	57
	4.3 Analisa Kekerasan Semen Tulang.....	61
	4.3 Analisa Sifat Anti Bakteri.....	62
BAB V	KESIMPULAN	
	5.1 Kesimpulan	54
	5.2 Next Step Research	54
	DAFTAR PUSTAKA	xvi
	LAMPIRAN A	xvii



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Properties Semen Tulang.....	5
Tabel 2.2 Properties Tulang Manusia dan Komersial Produk.....	7
Tabel 2.3 Komposisi Semen Tulang Komersial	8
Tabel 2.4 Aplikasi Chitosan.....	15
Tabel 2.5 Metode Penggunaan Apatit dalam Semen Tulang.....	19
Tabel 2.6 Semen Tulang Komersial dan Efek yang Ditimbulkan.....	25 23
Tabel 3.1 Rasio Komposisi Penelitian.....	32
Tabel 3.2 Rasio Komposisi Material Semen Tulang.....	34
Tabel 4.1 Jumlah Wt% setiap Unsur Penyusun pada Sample Semen Tulang.....	49
Tabel 4.2 Konduktivitas Thermal Semen Tulang.....	59
Tabel 4.3 Data Kekerasan Semen Tulang.....	61
Tabel 4.4 Panjang Zona Hambat.....	62





DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Chitin.....	10
Gambar 2.2 Struktur Polimorfi.....	11
Gambar 2.3 Chitosan.....	14
Gambar 3.1 FTIR Raw Material.....	26
Gambar 3.2 XRD Raw Material.....	27
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian.....	33
Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD terhadap Sample Semen Tulang.....	37
Gambar 4.2 Hasil Pengujian FTIR terhadap Sample Semen Tulang... ..	39
Gambar 4.3 Morfologi Permukaan Semen Tulang C6L, H6L, K6L.....	41
Gambar 4.4 Morfologi Penampang Melintang Semen Tulang C6L, H6L, K6L	42
Gambar 4.5 Morfologi Permukaan Semen Tulang C2H1K3L,C2H24K24L,C2H3K1L.....	44
Gambar 4.6 Morfologi Penampang Melintang Semen Tulang C2H1K3L,C2H24K24L,C2H3K1L	45
Gambar 4.7 Kuantitas Element dalam Semen Tulang (kontrol) C6L, H6L, K6L Kuantitas	47
Gambar 4.8 Element dalam Semen Tulang C2H1K3L,C2H24K24L,C2H3K1L	48
Gambar 4.9 Penyebaran Unsur C dalam sample semen Tulang C6L, H6L, K6L	50
Gambar 4.10 Penyebaran Unsur C dalam sample semen Tulang C2H1K3L,C2H24K24L,C2H3K1L	50
Gambar 4.11 Penyebaran Unsur O dalam sample semen Tulang C6L, H6L, K6L	52
Gambar 4.12 Penyebaran Unsur O dalam sample semen Tulang C2H1K3L,C2H24K24L,C2H3K1L	52
Gambar 4.13 Penyebaran Unsur P dalam sample semen	



	Tulang C6L, H6L, K6L	54
Gambar 4.14	Penyebaran Unsur P dalam sample semen	
	Tulang C2H1K3L,C2H24K24L,C2H3K1L	54
Gambar 4.15	Penyebaran Unsur Ca dalam sample semen	
	Tulang C6L, H6L, K6L	56
Gambar 4.16	Penyebaran Unsur Ca dalam sample semen	
	Tulang C2H1K3L,C2H24K24L,C2H3K1L	56
Gambar 4.17	Hasil Uji DSC Semen Tulang.....	58
Gambar 4.18	Hasil Uji TGA Semen Tulang.....	61
Gambar 4.19	Mekanisme Pembentukan Zona Halo Inhibiton Oleh Semen Tulang.....	64



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengalaman dalam operasi penyambungan dan penggantian tulang, penelitian menggunakan analisa teoritikal (matematis, analitis dan metode elemen hingga) dan eksperimental (in vivo, in vitro) telah memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap perkembangan semen tulang dewasa ini. Semen tulang memiliki fungsi utama sebagai material *interface* antara logam implant dengan tulang serta untuk mentransmisikan dan mendistribusikan beban tubuh yang terjadi padanya. Sebagai dasar pertimbangan terhadap konsumsi semen tulang di dunia, setidaknya ada sekitar 200.000 operasi penggantian total tulang panggul yang dilakukan setiap tahunnya, 10 % dari jumlah tersebut akan mengalami operasi lanjutan untuk penanganan kegagalan yang terjadi secara prematur. Hal ini menjadi salah satu indikator betapa pentingnya penelitian dan pengembangan lebih lanjut terhadap semen tulang perlu dilakukan.

Akhir dekade ini, telah banyak dilakukan penelitian untuk mengembangkan semen tulang dengan sifat yang lebih adaptif terhadap tubuh. Salah satu dari sekian banyak penelitian tersebut adalah yang difokuskan terhadap kemampuan terdegradasi dalam tubuh seperti yang difokuskan pada penelitian kali ini yang dilakukan dengan mencampur material *biodegradable* (hidroksiapatit, karbonat dan chitosan) dengan methylmetacrylate (MMA) melalui beberapa rasio yang telah dipersiapkan.



Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui komposisi dan sifat yang paling efektif untuk menghasilkan semen tulang dengan sifat yang kompatibel dan terdegradasi dengan baik dalam tubuh, selain itu data – data dari penelitian ini diharapkan menjadi referensi yang relevan terhadap penelitian selanjutnya.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi terhadap sifat fisik dan biocompatibility pada hasil semen tulang yang telah dibuat ?

1.3 Batasan Masalah

Agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak ada pengaruh dari lingkungan sekitar
2. Material yang digunakan [chitosan-(karbonat-hidroksiapatit)-karbonat] dianggap homogen
3. Ukuran sample semen tulang dalam pengujian anti bacterial test dianggap sama
4. Ukuran sample dalam pengujian hardness dianggap sama

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh variasi komposisi terhadap sifat fisik dan biocompatibility yang terjadi pada semen tulang yang dibuat.

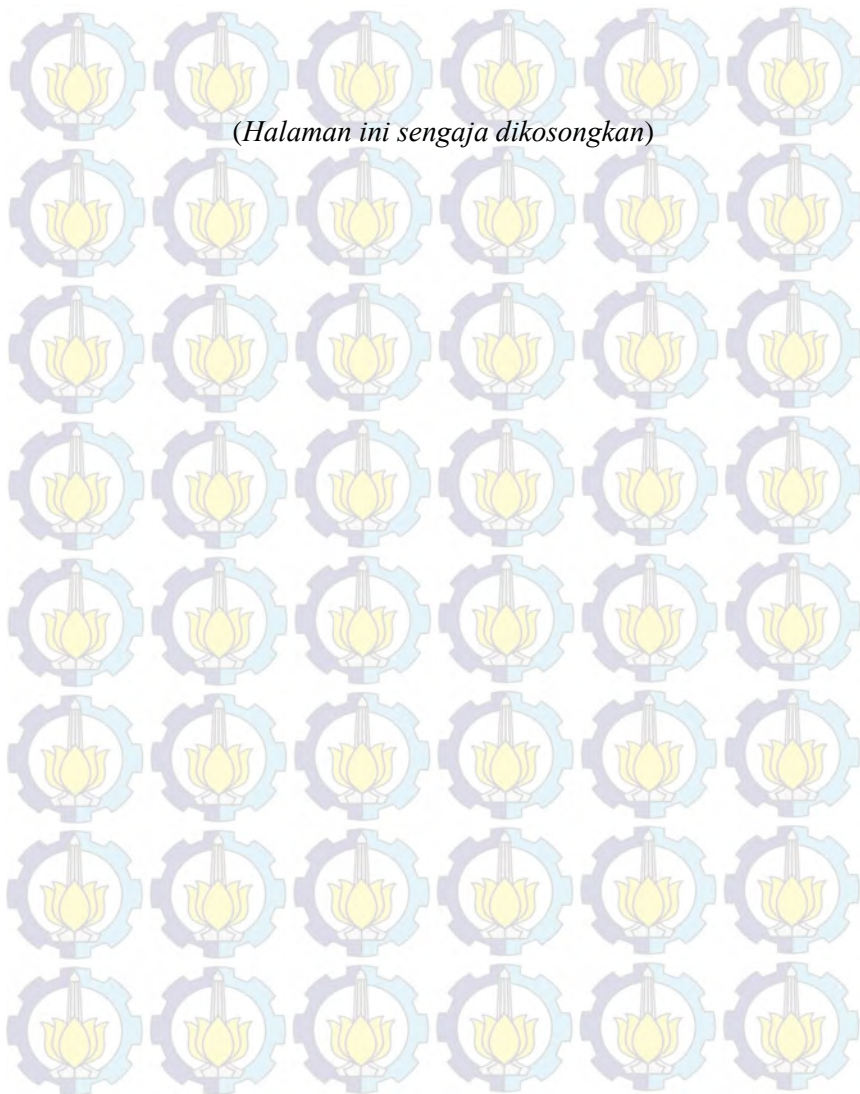


1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk menghasilkan produk semen tulang berpotensi digunakan dalam dunia medis dan memberikan kontribusi di bidang industri medis mengenai teknologi penciptaan semen tulang yang bersifat kompatibel terhadap tubuh. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan mengenai bahan baku di bidang medis yang aman bagi tubuh.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semen Tulang

Semen tulang merupakan suatu bahan yang digunakan untuk melekatkan dan melakukan fiksasi antara prosthesis dan tulang sebagaimana mekanisme dalam pengikatan prosthesis pada implant. Pada dasarnya semen tulang konvensional terdiri dari dua bagian yang berbeda: (1) serbuk, didalamnya termasuk pre-polymerized methylmethacrylate (PMMA) dan inisiator (benzoyl peroksida) dan (2) liquid, didalamnya termasuk monomer methylmetacrylate (MMA) dan inisiator (Nien, 2011). Kesuksesan aplikasi semen tulang dalam tubuh juga akan dipengaruhi oleh lingkungan dimana ia akan ditempatkan, pada umumnya tulang sebagai media pengaplikasian semen tulang memiliki properties seperti yang terdapat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 : properties tulang

Properties	Test direction	
	Parallel	Normal
Tensile strength (MPa)	124 – 174	49
Compressive strength (MPa)	170 – 193	133
Bending strength (MPa)	160	-
Shear strength (MPa)	54	-



Young's modulus (GPa)	17 – 18.9	11.5
Work of fracture (J/m ²)	6000 (low strain rate)	-
Ultimate compressive strain	0.0185 – 0.026	0.028

(sumber : j. Biomaterials, *aging and thermal effects of fleshed and defleshed bones*, 2010)

Sedangkan untuk sifat kekerasan pada tulang dan semen tulang komersial yang berada dipasaran ditunjukkan oleh tabel 2.2

Tabel 2.2 : properties tulang manusia dan komersial produk

Sample	Nilai kekerasan (HV)
wet cancelous bone	32.9
Dry cancellous bone	35.1
Embedded cancellous bone	44,6
Cemex Rx	31.0

(sumber : j. Biomaterials, *aging and thermal effects of fleshed and defleshed bones*, 2010)

Kebanyakan semen tulang komersial mengandung kalsium pospat, kalsium pospat ini digunakan untuk memproduksi apatit pada semen yang akan dibuat. Pada semen tulang jenis ini, biasanya ditemui masalah berupa kekuatan tensile yang cukup



rendah. Kekuatan ini lebih rendah daripada tulang, gigi maupun keramik kalsium orthopospat itu sendiri, selain itu masalah kegetasan juga akan menjadi masalah yang perlu mendapat perhatian khusus karena akan menimbulkan efek cacat dalam *non-load bearing* maupun *compression loading*. Mechanical properties dari semen tulang biasanya dipengaruhi oleh hal-hal berikut :

1. Porositas
2. Ukuran dan distribusi ukuran dari penyusunnya
3. Berat molekul unsur penyusunnya
4. Proses sterilisasi yang dilakukan
5. Jenis dan jumlah dari zat aditif yang ditambahkan

kesuksesan dalam peningkatan *mechanical properties* akan membuat semen dari kalsium pospat dapat diaplikasikan secara signifikan, hal ini dapat dicapai dengan salah satu cara yaitu membuat material komposit. Fase kedua yang ditambahkan pada komposit kalsium pospat dapat berupa polymer sebagai poros matriks maupun serat penguat. Kekuatan dari semen dapat ditingkatkan dengan metode seperti ini, namun biopolymer yang digunakan biasanya bersifat kurang ulet, rigid dan kurangnya *mechanical properties* untuk diaplikasikan pada keadaan pembebanan (Kruger, 2012). 4 contoh semen komersial dengan propertiesnya tersaji dalam tabel di bawah ini:



tabel 2.3 : komposisi semen tulang komersial

	Cemex Isoplastic	Palacos R	Smarset GHV	DePuy CMW1
Liquid				
Total liquid (g)	13.30	18.78	18.88	18.88
Methyl metacrylate (% w/w)	99.10	97.98	-	-
N-N dimethyl-p- toluidine (% w/w)	0.90	2.02	≤ 2.5	≤ 1.5
Hydroquinone (ppm)	75.00	60.00	75.00	76.00
Powder				
Total powder (g)	40.00	40.00	40.00	40.00
Methyl metacrylate (% w/w)	84.30	84.50	80.45	98.5
Berilium sulphate (% w/w)	13.00	-	-	9.1
Zirconium dioxide (% w/w)	-	15.00	14.37	-



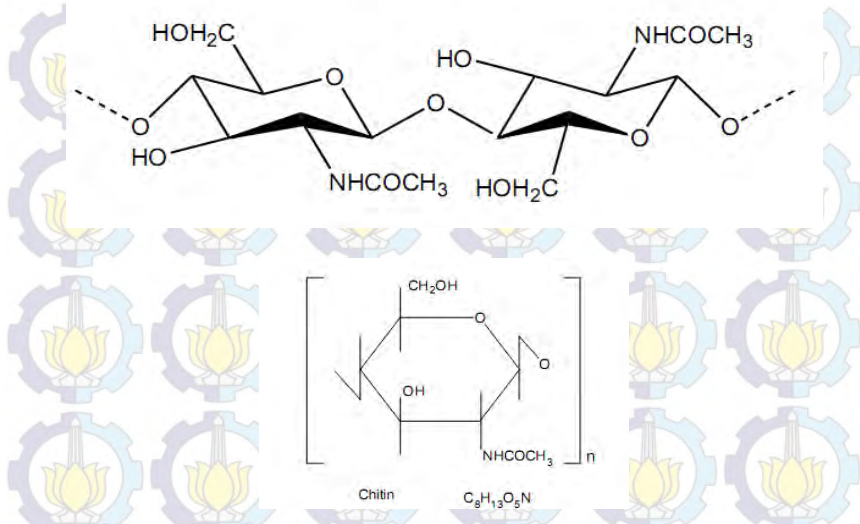
Benzoyl peroxide(% w/w)	2.70	0.50	0.96	2.05
Powder – liquid ratio	3.10	2.13	2.13	2.13

(sumber : j. Biomaterials, *Ageing and moisture uptake in polymethyl metacrylate (PMMA) bone cement*, 2014)

Dengan melihat komposisi yang ada, rata-rata semen tulang komersial merupakan jenis semen akrilik, hal ini dikarenakan semen akrilik lebih mudah terikat pada jaringan tulang, lebih aman dengan tingkat toksisitas yang lebih rendah dan akan memberikan efek terbentuknya suatu ikatan antara semen dengan jaringan tulang yang ditempati.

2.2 Chitin

Chitin merupakan homopolisakarida yang keberadaanya kedua terbanyak di alam setelah selulosa, chitin sendiri memiliki rumus kimia ($-C_8H_{13}O_5N-$)_n yang merupakan bentuk pengulangan dari monomer disakarida acetylglucosamine. Monomer ini terdiri dari sejumlah β (1-4) yang terikat pada residu N-acetyl-2-amino-2-deoxy-D-glucose (dikenal sebagai residu A) dan residu 2-amino-2-deoxy-D-glucose (dikenal sebagai residu D). Struktur kimia dari chitin ditunjukkan pada gambar dibawah ini (gambar 2.1).

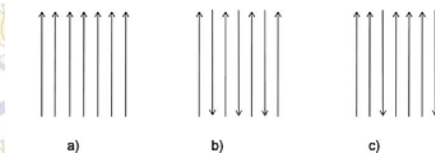


Gambar 2.1 : chitin

Secara umum terdapat tiga kelompok chitin, yaitu : α -chitin, β -chitin dan γ -chitin. α -chitin merupakan chitin yang keberadaannya paling melimpah, dapat dijumpai pada fungi, krill, tendon, kerangka luar dari lobster dan kepiting, kutikula serangga dan bermacam – macam biota laut, chitin jenis ini mempunyai struktur orthorombic yang sangat rapat yang terbentuk dari perubahan susunan rantai antiparalel (Minke dan Blankwell, 1978), rantai polimorfnya tersusun dalam arah yang sama pada sebuah bidang; β -chitin kebanyakan ditemukan pada protein dari cumi-cumi, cacing vestimetiferan, rumput laut dan beberapa jenis protozoa, memiliki struktur kristal monoclinic dengan rantai polysaccharida yang tertambat secara paralel (Gardner dan Blankwell, 1975). struktur polimorfnya berupa rantai-rantai yang memiliki arah yang berlawanan arah dan



bentuknya terulang setiap dua rantai, chitin jenis ini identik dengan kandungan protein yang tinggi namun memiliki kadar karbonate yang rendah; γ -chitin memiliki struktur kombinasi berupa penggabungan dari struktur α dan β (Robert, 1992), dengan struktur polimorfi berupa tiga rantai memiliki arah yang sama dan berlawanan arah dengan dua rantai disebelahnya (Aranaz et al, 2000). Adanya perbedaan Skema dari ketiga struktur diatas ditampilkan dalam gambar ini (gambar 2.2)



Gambar 2.2 : struktur polimorfi dari a) α -chitin, b) β -chitin dan c) γ -chitin

Setiap jenis dari chitin yang dipaparkan diatas memiliki karakteristik masing-masing, namun secara umum chitin berwarna putih, bersifat keras, inelastic serta digolongkan ke dalam nitrogenous polysaccharida (Long,2013). Dengan adanya jumlah gugus residu D yang lebih sedikit, membuat chitin akan memiliki sifat susah larut dalam sejumlah pelarut tertentu, hal inilah yang menjadi dasar mengapa perlu dilakukan transformasi dari chitin menjadi chitosan.

2.1.1 Aplikasi Chitin Dalam Semen Tulang

Dalam dunia medis chitin kebanyakan digunakan sebagai bahan anti bakteri dengan cara meningkatkan perlindungan secara biologis, selain itu chitin juga dapat digunakan sebagai bahan yang mempercepat proses penyembuhan luka. Ge dkk



menggunakan chitin dengan campuran apatit sebagai bahan untuk membuat semen tulang, Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *freeze-drying* dan pengkombinasian hidroksiapatit-chitin dengan berbagai variasi massa. Dalam melakukan penelitian ini, hidroksiapatit didispersikan dalam larutan LiCl / DMAc, diikuti dengan penambahan chitin, campuran ini kemudian diaduk dalam refrigerated shaking selama 4 hari pada 10⁰C, lalu dicetak dalam cetakan plastik dan dibiarkan dalam udara terbuka selama 24 – 36 jam untuk mendapatkan struktur seperti gel. Hasil yang didapatkan menyatakan bahwa kombinasi dari hidroksiapatit – chitin telah memberikan lingkungan yang sangat cocok untuk osteoblas agar tertambat, berpindah dan berkembang (Ge, 2004).

Berbeda dengan yang dilakuka oleh Okamoto ddk, Chitin – NFW dapat digunakan sebagai material untuk filling agent dalam kasus surgical filling defect.. tinnginya tensile strength merupakan salah satu sifat yang dimiliki oleh produk ini sehingga sangat sesuai untuk diaplikasikan pada tulang. Selain itu ada Chitin-sponge yang juga merupakan material untuk mengisi bone defect, chitin jenis ini dibuat dengan metode sabagai berikut: melarutkan chitin dalam air dengan rasion 15% (w/v) dan dibekukan pada temperature -20⁰C. Setelah itu dilakuka proses freeze drying selama 24 jam untuk menghasilkan struktur menyerupai sponge. Proses sterilisasinya dilakukan menggunakan gas oxy ethylene selama 12 jam pada temperature 60⁰C. Metode lain yang dapat digunakan dalam pengaplikasian chitin adalah chitin-cotton dimana metode ini memiliki langkah-langkah sebagai berikut : melakukan pulverisasi pada sumber chitin yang didapat dengan menggunakan ACM pulverizer 10 selama 25 menit pada 6800

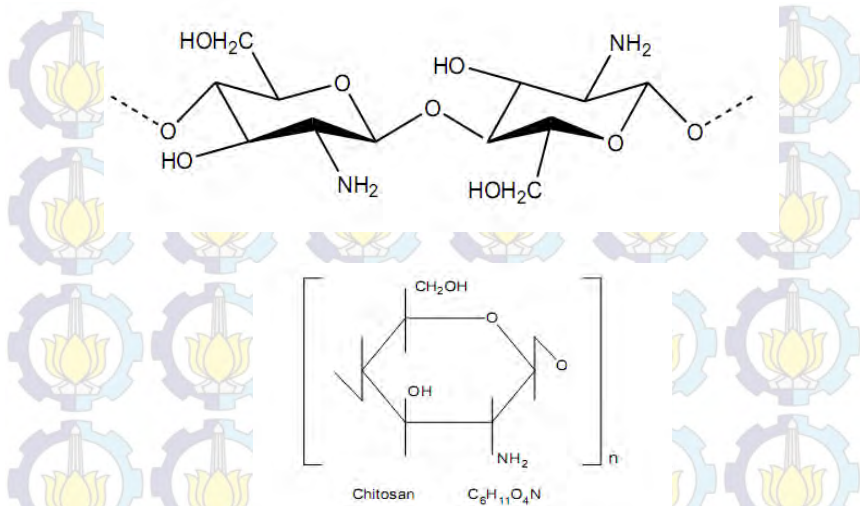


rpm dengan arus sebesar 24 A, setelah proses ini selesai akan dihasilkan tekstur yang mirip dengan kapas dengan specific gravity sebesar $0.05 - 0.13 \text{ g/cm}^3$ dan dengan panjang serat $0.1 - 0.8 \text{ mm}$ serta lebar $120 \text{ }\mu\text{m}$. Selanjutnya chitin – cotton ini akan melewati proses sterilisasi menggunakan gas oxy ethylen selama 12 jam pada temperature 60°C (Shigemase dan Minami, 1992).

penggunaan chitin dalam produk semen tulang sangat jarang, hal ini dikarenakan sifat susah larut yang dimilikinya. Selain itu proses yang dibutuhkan untuk membuat chitiin dapat diaplikasikan pada tulang membutuhkan banyak tahapan seperti metode metode yang diungkapkan di atas. Oleh karena itu kebanyakan semen tulang menggunakan campuran apatit dengan chitosan, karena chitosan memiliki sifat mudah larut yang lebih baik daripada chitin.

2.3 Chitosan

Chitosan merupakan produk turunan dari chitin yang diproduksi dengan proses deacetylation. Chitosan memiliki struktur kimia yang terdiri dari dari β -(1,4)yang terikat pada 2-acetamino-2-deoxy- β -D-glucopyranose dengan 2-amino-2-deoxy- β -D-glucopyranose (Marthur dan Narang, 1990) yang ditunjukkan pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 : chitosan

Berbeda dari chitin, chitosan memiliki kemampuan untuk dapat larut dalam sebagian besar jenis pelarut, khususnya acidic aqueous. Dalam acidic aqueous, chitosan bertindak sebagai cationic polielektrolit (Sun dan Fernandez, 2004). Kelarutan dari chitosan tidak saja dipengaruhi oleh derajat deasetilasinya, namun juga dapat dipengaruhi oleh distribusi dari gugus asetil yang berada pada sepanjang rantai utama (Eguchi, 1997). Selain itu ketika Gugus amino dari chitosan memiliki Pka 6.5 akan membuat chitosan memiliki sifat larut dalam air karena dengan keadaan Pka seperti itu akan mendorong chitosan mengalami proses protonation dalam larutan dengan PH asam sampai netral (Shanmuka et al,2012).



chitosan memiliki karakteristik sebagai berikut : tingginya *biocompatibility* yang ditunjukkan oleh mekanisme in vitro pada sel myocardial, endotelial dan ephtalial, fibroblas, hepatocyte, condrocyte dan keratinocyte, biodegradability, non-toxicity, hydrophilic macromolecule drug carrier, media yang paling efektif untuk drug delivery dengan target otak, Transdermal film, antimicrobial, analgesik dan hyperlipidemic. Karakteristik dari chitosan ini tergantung pada molecular weight dan viskositas yang dimilikinya.

2.3.1 Aplikasi Chitosan dalam Semen Tulang

Chitosan memiliki peran yang sangat dominan dalam pembuatan semen tulang karena sifat anti bakteri , biodegradable , poros agent serta kelarutan yang lebih baik daripada chitin. Metode – metode penggunaan chitosan dalam pembuatan semen tulang sangat beraneka ragam seperti yang terangkum dalam tabel dibawah ini ,

Tabel 2.4 : aplikasi chitosan

Author	Komposisi	Metode	Aplikasi	Hasil
Zhang dkk, 2012	Chitosan, HA, air	Metode freeze-drying	Bone repair	Secara in vitro, Adanya sel osteoblas pada permukaan composite yang telah dibuat
Tan dkk,	Komersial semen	Quartenize chitosan loaded	Arthroplasty, mencegah	Hydrophilicity yang tinggi,



2012	tulang, gentamicin, chitosan, GTMAC,	bone cement	infeksi, koreksi tulang	mencegah terjadinya lapisan biofilm, , adanya jaringan baru yang terikat secara kuat pada permukaan semen tulang
Mohamed dkk, 2014	HA, chitosan, gelatin	In vitro	Bone graft material	Adanya lapisan apatit yang terbentuk pada permukaan komposit yang dibuat
Danil chenko dkk, 2009	HA, chitosan, salts	One step coprecipitation	Bone tissue engineering	Adanya jaringan tulang baru yang masuk pada poros
Fuentes dkk, 2005	Semen HA, chitosan, alginate, gypsum	Menguji pengaruh komposisi terhadap porositas dan setting time	Bone tissue engineering	Adanya penggantian asam succinic oleh asam mallic, adanya porositas yang lebih besar pada kombinasi semen type Q



Kebanyakan chitosan yang digunakan dalam beberapa metode di atas melalui proses purifikasi yang bertahap dengan menggunakan bahan kimia untuk mendapatkan derajat deasetilasi yang tinggi, dalam penelitian kali ini penggunaan bahan kimia sangat dihindari karena berbagai macam efek yang akan ditimbulkan nantinya. Selain itu metode – metode yang digunakan untuk mengkombinasikan chitosan dengan material lain sangat beraneka ragam, metode – metode seperti yang dipaparkan diatas memiliki tahapan yang sangat panjang dan waktu proses yang cukup lama, oleh karena itu metode yang digunakan dalam penelitian ini bersifat sederhana yaitu mencampurkan chitosan dengan pelarutnya biasa lalu ditambahkan kedalam larutan chitin dan dibuat dengan berbagai rasio sebagai bahan untuk analisa yang lebih teliti.

2.4 Apatit

Apatit merupakan jenis dari biokeramik yang paling banyak digunakan dalam dunia medis. Rumus umum dari apatit adalah $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{X}_2$ dimana X dapat digantikan oleh F (fluorapatit, Fap), OH (Hidroksiapatit, OHAp) maupun Cl (kloroapatit, ClAp). Kisi-kisi dari apatit sangatlah toleran terhadap adanya proses substitusi, vakansi maupun mekanisme larutan padat (solid solution). Sebagai contoh X dapat digantikan oleh $\frac{1}{2}\text{CO}_3$ or $\frac{1}{2}\text{O}$; Ca oleh Sr, Ba, Pb, Na atau vakansi, dan O4 oleh HPO_4 , AsO_4 , VO_4 , SiO_4 atau CO_3 . Mineral dari tulang dan gigi merupakan contoh dari OHAp yang tidak murni, tingkat kemurnian dari apatit ditentukan oleh rasio mol Ca/P (1.6 sampai 1.7, OHAp memiliki rasio Ca/ P 1,66), kadar dari CO dan air (Elliot, 1994).



Akhir-akhir ini perhatian mulai ditujukan pada material apatit, karena apatit memiliki sifat psikokemikal, stabilitas thermal, dan biokompatibiliti yang membuatnya cocok untuk diaplikasikan dalam bidang biomedik (Nasaraju et al, 1996). Penggunaan dari apatit yang berhubungan dengan biomaterial utamanya berfokus pada substitusi tulang dan semen tulang (Ono et al, 1990). Akhir-akhir ini fokus penelitian pada apatit telah dikembangkan sampai pada bidang regenerasi tulang dan sistem pengiriman obat (drug delivery system) (Komleva et al, 2002).

Untuk mengembangkan apatit, hal yang perlu diperhatikan terlebih dahulu adalah memahami tentang proses biomineralisasi secara natural yang terjadi pada tulang. Biomineralisasi pada tulang terbagi dalam tiga bagian, yaitu (Uddin dkk, 2010):

1. Diferensiasi osteogenik dari stem sel mesenchymal (MSCs)
2. Pengaturan protein matriks hasil sekresi osteoblas
3. Nukleasi dan pertumbuhan kristal dari apatit

Dengan mengetahui prinsip-prinsip biomineralisasi tulang diatas, penelitian terhadap metode- metode yang akan digunakan untuk memproduksi apatit akan jauh lebih mudah. Karena dasar dari pertumbuhan dan perkembangan tulang telah dikuasai. Dengan segala potensi yang dimilikinya, apatit merupakan material yang akan sangat berguna kedepannya.

2.4.1 Aplikasi Apatit dalam Semen Tulang

Telah banyak metode yang dikembangkan untuk menjadikan apatit sebagai bahan yang sangat penting dalam



pembuatan semen tulang, Berbagai cara dalam mengkombinasikan apatit dengan bahan lain untuk membentuk semen tulang terangkum dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2.5 metode penggunaan apatit dalam semen tulang

Author	Komposisi	Metode	Aplikasi	Hasil
Basgorenay , 2004	MMA, DMPY, PMMA, HA	Impregnation of HA	Semen tulang	Meningkatkan ya <i>mechanical properties</i> dan biokompatib liti
Tan , 2012	Gentamicin, PMMA, HA,	Quartenized chitosan loaded PMMA	Semen tulang	Terhambatny a pertumbuhan dan pembentukan biofilm, poliferasi sel yang lebih baik
Pineda dkk, 2014	HA, aseton, methanol, asam asetic, silane-174, MMA,	Silanization process,	Semen tulang	Meningkatny a <i>mechanical properties</i>



	DMPT, BPO			
Fuentes dkk, 2005	HA, chitosan, Alginate, gypsum, potassium pospat, kalsium oksida	Membandingkan beragam variasi bahan yang dimasukkan dalam semen tulang	Semen tulang	Meningkatny a <i>mechanical properties</i> dan meningkatny a <i>setting time</i> yang dibutuhkan
Zhang dkk, 2012	Chitosan, HA ,water	Freeze drying	<i>Bone repair</i>	Ukuran poros yang dibutuhkan dan distribusinya telah cukup untuk perbaikan tulang
Danil chenko dkk, 2009	NaH ₂ PO ₄ , CaCl ₂ ,asam asetic, chitosan	One step coprecipitation	<i>Bone repair</i> dan <i>tissue engineering</i>	Osteokonduk tivitas yang bagus, adanya poros dengan ukuran yang sesuai dan



					mekanisme biodegradasi
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------

Dalam paparan di atas, jenis apatit yang paling banyak digunakan adalah hidroksiapatit. Hal ini terjadi karena sifat yang dimiliki hidroksiapatit yang dapat mendukung fungsi dari semen tulang yang dibuat, sifat – sifat tersebut anatara lain memiliki komposisi mineral secara kimiawi mirip dengan gigi dan jaringan tulang pada mamalia, material bioaktif, *osseointegration* stimulan dan *biocompatible*. Beraneka ragamnya metode yang digunakan dalam pengaplikasian apatit dalam semen tulang akan menghasilkan sifat yang berbeda pula, seperti yang dilakukan oleh Pineda dkk, disini apatit yang digunakan dimasukkan kedalam semen tulang bersama bahan lain dengan metode silanization, metode ini sangat membutuhkan banyak tahapan dan menggunakan bantuan bahan kimia yang cenderung mempunyai struktur lebih kompleks, dengan penggunaan bahan kimia yang bermacam – macam akan membuat biaya yang dikeluarkan akan semakin mahal, hal ini akan berpengaruh pada nilai jual produk jika dipasarkan. Berbeda dengan yang dilakukan oleh Funetes dkk, penelitian yang mereka lakukan menggunakan apatit dengan cara mencampurkannya dengan bahan-bahan kimia yang memiliki struktur lebih sederhana namun dengan macam yang lebih banyak dari yang digunakan oleh Pineda dkk, metode yang digunakan cukup mudah yaitu dengan memasukkan kombinasi dari berbagai macam bahan dasar yang ada dengan berbagai rasio yang telah ditentukan ke dalam rancangan semen tulangnya, setelah itu dilakukan pengukuran mechanical



properties terhadap beberapa sampel semen tulang yang telah dibuat.

Data mechanical properties ini akan menjadi acuan sebagai penentu mana variasi rasio bahan yang sesuai dengan kebutuhan tulang yang ada. Dalam penelitian ini, dikembangkan metode yang sama dengan yang dilakukan Fuentes dkk, yaitu dengan memasukkan kandungan apatit yang dikombinasikan dengan hidroksiapatit ke dalam rancangan semen tulang dengan berbagai rasio, apatit yang digunakan berasal dari limbah kulit telur dan tulang sapi dengan proses kalsinasi menggunakan gelombang mikro dan tanpa menggunakan bahan kimia. Secara tidak langsung penggunaan apatit jenis ini akan lebih aman karena sama sekali tidak menggunakan bahan kimia dalam proses produksinya

2.5 Semen Tulang Komersial

Dari beberapa penelitian tentang semen tulang komersial yang sudah ada, menunjukkan adanya mayoritas kandungan bahan kimia yang kompleks dan adanya efek samping saat semen tulang diaplikasikan, salah satu efek samping yang timbul adalah munculnya kerusakan pada sisi antar muka semen tulang dengan implant seperti yang terangkum di bawah ini:



Tabel 2.6: semen tulang komersial dengan efek samping yang ditimbulkannya

No	Merek	Komposisi	Keterangan
1	Simplex P	PMMA, MMA, BaSO ₄ , DMPT, HQ	Permukaan semen tulang jenis ini akan sangat mudah rusak jika berada pada antar muka semen tulang dengan implant
2	Palacos R	PMMA, BPO, ZrO ₂ , C, MMA, DMPT, HQ	Permukaan semen tulang yang berada pada sisi antar muka dengan implant mengalami kerusakan yang memicu terjadinya kegagalan dan inflamasi
3	CMW 3	PMMA, BPO, BaSO ₄ , MMA, DMPT, HQ	Permukaan semen tulang yang berada pada sisi antar muka dengan implant mengalami kerusakan yang memicu terjadinya kegagalan dan inflamasi
4	Cemex	MMA, DMPT, HQ, PMMA,	Pertumbuhan <i>crack</i> akan sangat mudah



	isoplastic	BaSO ₄ , BPO	terjadi pada semen jenis ini ketika dilakukan <i>aging</i> pada larutan Ringer's, difusi poros tidak terjadi secara maksimal, terjadi banyak sekali <i>surface imperfection</i>
--	------------	-------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

BPO - benzoylperoxide: C-chlorophyll: DMPT – dimethyl para toluidine: HQ- hidroquinone: MMA- methyl meta crylate : PMMA – polymethyl meta chrylate.

Dapat dilihat pada tabel diatas bahwa mayoritas semen tulang yang berada di pasaran merupakan semen tulang hasil sintesa dari bahan kimia , bahan – bahan kimia yang digunakan akan tetap memiliki resiko dalam tubuh walaupun telah diaplikasikan menurut standar kesehatan yang ada, resiko – resiko tersebut dapat berupa peradangan / inflamasi sampai pada kegagalan implant yang telah ditanam. Untuk itu sintesa semen tulang dengan bahan yang lebih alami dan mampu beradaptasi terhadap sistem metabolisme tubuh seperti chitosan yang diperoleh dari limbah kulit udang, karbonat-hidroksiapatit yang diolah dari limbah tulang sapi serta karbonat dari limbah kulit telur memiliki nilai potensial yang sangat besar untuk dikembangkan. Serta penggunaan bahan kimia dengan jumlah dan jenis yang sedikit akan sangat mengurangi dampah trjadinya proses toksisitas dalam tubuh.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Percobaan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Karbonat-hidroksiapatit , *home made* dari limbah tulang sapi dengan kadar kemurnian 97% dan rasio Ca/P sebesar 1.68.
- Chitosan, *home made* diproduksi dari limbah kulit udang dengan derajat deasetilasi (DD) sebesar 78,5 % dan densitas sebesar 1,313 gram/ cm³
- Kalsium karbonat, *home made* diproduksi dari limbah kulit telur dengan rasio Ca:C:O sebesar 1:1:3 dan derajat kemurnian sebesar 99%

- Resin

Resin merupakan campuran yang terdiri dari Methyl methacrylate (MMA) dengan molecular weight sebesar 100.12 g/mol, water solubility sebesar 15 g/l dan densitas sebesar 0.936g/cm³. Yang berperan sebagai *diluent*. Bisphenol A dimethacrylate berperan sebagai inisiator dari benzoyl peroxide, memiliki molecular weight sebesar 364.43 g/mol. Ethylene glycol dimethacrylate (EgDMA) berperan sebagai *crosslinker*, memiliki molecular weight sebesar 198.22 g/mol, densitas sebesar 1.052 g/cm³ dan water solubility sebesar 5 g/l. N,N-dimethyl-p-toluidine (DMPT) berperan sebagai *activator* memiliki molecular weight



sebesar 135.21 g/mol. Benzoyl peroxide berperan sebagai *inisiator* yang memiliki molecular weight sebesar 242.23 g/mol. Keseluruhan material resin ini diproduksi oleh Sigma Aldrich Singapore.

Untuk membantu analisa pada hasil uji semen tulang, maka digunakan data FTIR dan XRD raw material pada lampiran E dan F.

3.2 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian kali ini antara lain:

- **Crucible**

Crucible dan castable yang dipakai terbuat dari semen tahan api dengan spesifikasi HCR 18 yang memiliki sifat tembus terhadap gelombang mikro.

- **Microwave**

Adapun spesifikasi dari microwave yang digunakan adalah sebagai berikut: model: **LMV1683ST**, SKU: **4844785**, 1000 watts of power, IntuiTouch controls, 10 power levels, add 30 seconds feature, one-touch settings, time and auto defrost, 2-speed fan, carbon-coated removable charcoal filter.

- **Timbangan Analitik**

Penimbangan bahan chitosan dan apatit dilakukan menggunakan timbangan digital karena tingkat akurasi yang tinggi.



- **Anaerob jar**

Penyimpanan cawan dengan media broth (nutrien agar) yang telah diberi bakteri dilakukan dalam anaerob jar dengan tujuan untuk menciptakan lingkungan sesuai dengan lingkungan bakteri yang datang.

3.3 Analisa dan Karakterisasi

- **XRD**

XRD yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi D/max-3B japan, menggunakan parameter radiasi CuK α dengan daya 40 Kv dan arus 20 mA. Hasil dari analisa menggunakan XRD biasanya berupa grafik antara intensitas dan sudut pengukuran (2 θ). Puncak – puncak difraksi menunjukkan fasa yang teridentifikasi. tujuan dilakukannya analisa menggunakan XRD adalah sebagai berikut :

- ✓ Identifikasi senyawa yang ada pada semen tulang
- ✓ Melakukan analisa komposisi pada semen tulang yang telah dibuat, apakah kandungannya berubah atau tidak setelah melewati beberapa proses yang telah dilakukan
- ✓ Penentuan ukuran kristal,

- **FTIR**

FTIR yang digunakan pada penelitian ini mempunyai spesifikasi PE-spectrum one-B FT-IR, USA. Pengujian dengan menggunakan FTIR kan menghasilkan data



berupa grafik antara panjang gelombang dan relative transmittance. Dengan menggunakan FTIR kita dapat mengetahui gugus fungsi dari semen yang diuji yang berada pada 950 cm^{-1} (PO_4^{-3}), 1060 cm^{-1} (PO_4^{-3}), 600 cm^{-1} (PO_4^{-3}), 560 cm^{-1} (PO_4^{-3}), dan 870 cm^{-1} (HPO_4^{-2}).

- **SEM-EDAX**

Pengamatan *Scanning Electron Microscope/EDX* dilakukan di laboratorium Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS dengan menggunakan mesin FEI INSPECT S50.

- **DSC-TGA**

Analisa terhadap konduktivitas thermal semen tulang yang akan dihasilkan, dilakukan dengan menggunakan alat Thermogravimetri Analizer Mettler Toledo, dengan parameter pengujian heating rate $10^\circ\text{C}/\text{menit}$ serta rentang temperatur antara 37°C - 700°C . Nilai konduktivitas thermal akan diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.1 :

$$\frac{dQ}{dT} = K (T_b - T) \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana:

Q = heat flow pada sample (mW)

T = temperature sample ($^\circ\text{C}$)

K = konduktivitas thermal sample ($\text{mW} / ^\circ\text{C}$)

T_b = Temperature reference



- **Mesin Uji Kekerasan**

Analisa kekerasan dilakukan menggunakan mesin Hardness Vickers (HV) dengan merk MITUTOYO. Mesin yang digunakan memiliki spesifikasi CV-400DTS, dengan beban 0.5 kgf dan lama indentasi 10s. Analisa kekerasan ini digunakan untuk melihat seberapa besar pengaruh dari kombinasi karbonat-hidroksiapatit-chitosan-karbonat dengan rasio yang telah ditentukan pada kekuatan semen tulang yang telah dibuat.

- **Anti Bacterial Test**

Anti bacterial test ini dilakukan dengan cara memberikan bakteri *Staphylococcus sp.* yang telah dikultur pada temperatur 37°C pada sampel semen tulang yang ada dalam suatu media agar nutrien (broth), pengamatan terhadap perkembangan bakteri akan dilakukan selama 18-24 jam dalam anaerob jar yang disimpan dalam inkubator dengan temperature 37°C. Tujuan dari pengujian ialah untuk mendapatkan radius zona hambat yang diproduksi oleh sample semen tulang yang dirumuskan oleh persamaan 3.1 sebagai berikut :

$$\text{Radius halo inhibiton} = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

Radius halo inhibition : radius hambat rata-rata

Dmax : radius zona hambat maksimum

Dmin : radius zona hambat minimum



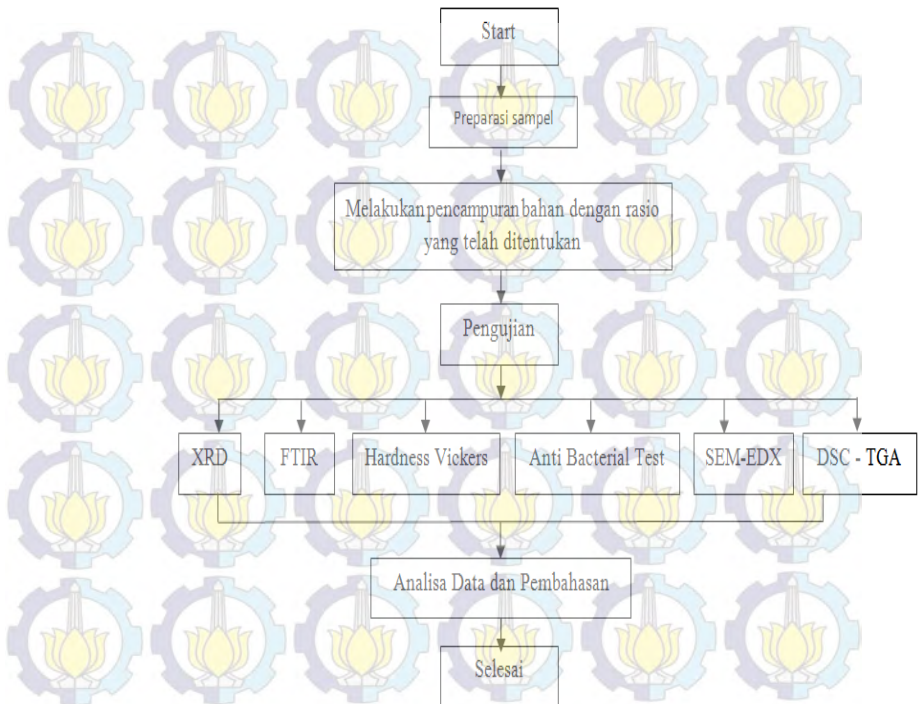
3.4 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian kali ini, proses yang pertama kali dilakukan berupa penyiapan raw material berupa chitosan, C-HA, kalsium karbonat yang dibuat secara *home made* dan polimer pendukung berupa MMA. Langkah selanjutnya berupa pencampuran raw material dengan rasio komposisi yang telah ditentukan (tabel 3.1). pertama – pertama, mencampurkan seluruh powder semen tulang dengan rasio yang telah ditentukan, melakukan pengadukan sehingga powder semen tulang menjadi homogen. Langkah kedua berupa menyiapkan resin, dengan mencampurkan monomer MMA, BisGMA, DMPT, dan EGDMA terlebih dahulu. Setelah itu melakukan pencampuran terhadap powder semen tulang dan resin yang telah disiapkan, selanjutnya menambahkan BPO untuk mempercepat proses curing.

**Tabel 3.1** : rasio komposisi penelitian

KODE	POWDER			LIKUID (wt%)
	CH (wt%)	C-HA (wt%)	K (wt%)	
C6L	68	-	-	32
H6L	-	68	-	32
K6L	-	-	68	32
C3H3A3L	34	34	-	32
C3K3L	34	-	34	32
H3K3L	-	34	34	32
C3H3K3L	22.7	22.7	22.7	32
C2H24K24L	20	24	24	32
C2H3K1L	20	36	12	32
C2H1K3L	20	12	36	32

Sterilisasi peralatan yang digunakan sangat perlu dilakukan sebelum melakukan proses pencampuran. Langkah selanjutnya berupa melakukan pengujian SEM, FTIR, EDAX, TGA – DSC, hardness dan antibacterial test. Data yang diperoleh dari pengujian lalu diolah dan dilakukan penarikan kesimpulan terhadap penelitian yang telah dilakukan.



Gambar 3.3 : diagram alir penelitian

3.5 Rancangan Penelitian

Berdasarkan komposisi semen tulang yang berada di pasaran dengan berak serbuk sebesar 68wt % dan berat likuid sebesar 32 wt % maka didapatkan rancangan komposisi pada tabel 3.2.



Tabel 3.2 : rasio komposisi material semen tulang

No	KODE	POWDER			LIKUID (wt%)	ANALISA					
		CH (wt%)	C-HA (wt%)	K (wt%)		XRD	FTIR	SEM EDX	HV	ABT	TGA DSC
1	C6L	68	-	-	32	-	V	V	-	V	-
2	H6L	-	68	-	32	-	V	V	-	-	-
3	K6L	-	-	68	32	-	V	V	-	-	-
4	C3H3A3L	34	34	-	32	-	V	V	-	V	-
5	C3K3L	34	-	34	32	-	V	V	-	V	-
6	H3K3L	-	34	34	32	-	V	V	-	-	-

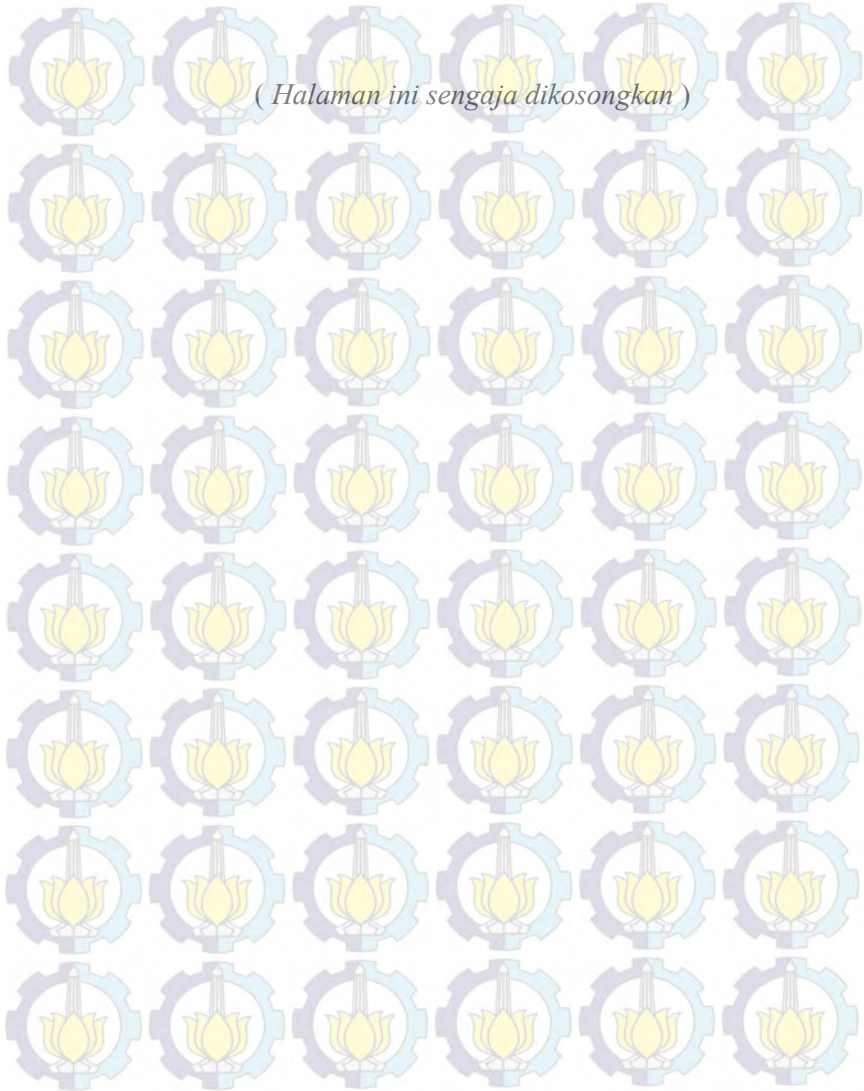


7	C3H3K3L	22.7	22.7	22.7	32	-	V	V	-	V	-
8	C2H24K24 L	20	24	24	32	V	V	V	V	V	V
9	C2H3K1L	20	36	12	32	V	V	V	V	V	V
10	C2H1K3L	20	12	36	32	V	V	V	V	V	V

Keterangan: CH- chitosan; (C-HA) – karbonat-hidroksiapatit; HV - hardness vickers; ABT – Anti Bacterial Testing



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

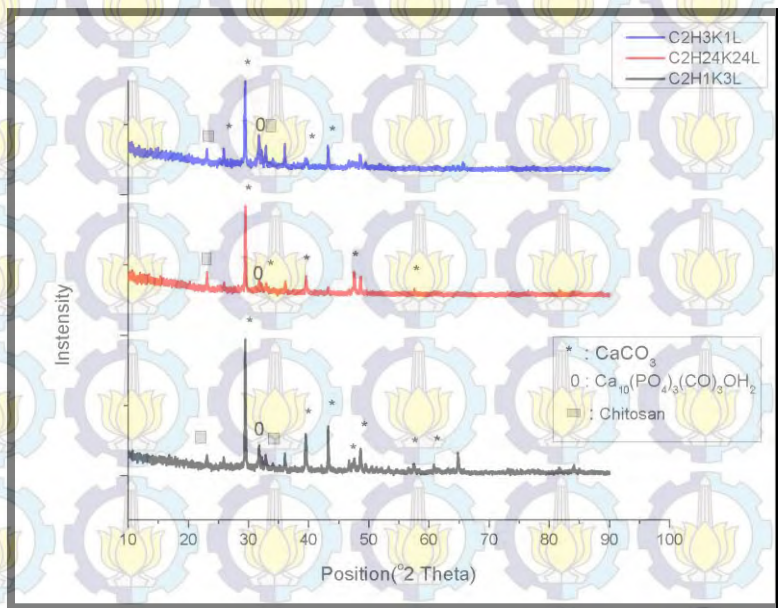




BAB IV ANALISA DATA & PEMBAHASAN

4.1 Analisa Komposisi Kimia

Untuk mengidentifikasi fasa dan karakteristik peak yang terbentuk pada ketiga sample semen tulang dengan kode C2H1K3L, C2H24K24L, C2H3K1L, digunakan analisa menggunakan XRD dengan hasil seperti yang terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 : hasil pengujian XRD terhadap sample semen tulang

Dari hasil pengujian menggunakan XRD didapatkan tiga grafik dengan pattern yang sama, namun terdapat perbedaan dari segi fasa yang menempati posisi tersebut dan intensitasnya. Dalam ketiga sampel uji didapatkan ada tiga

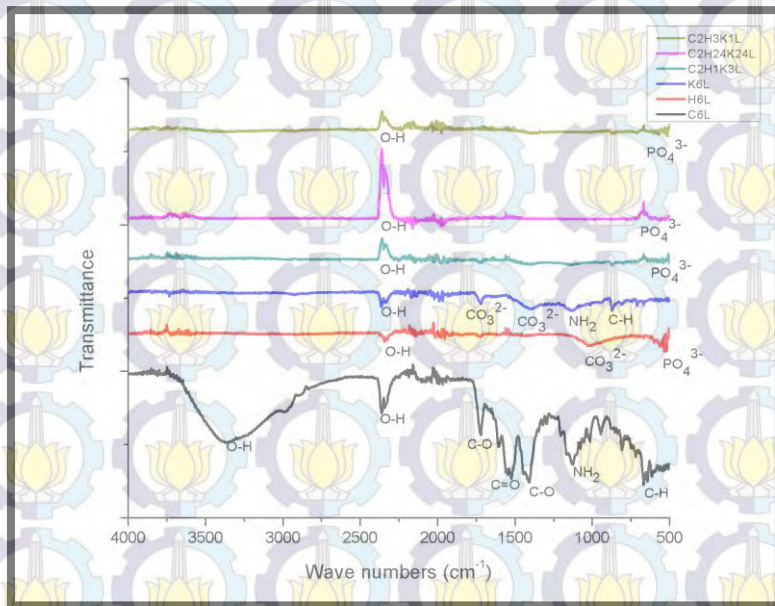


senyawa yang mendominasi setelah dilakukan pencocokan dengan ICDD, yaitu: kalsium karbonat (CaCO_3) yang berada pada posisi $2\theta = 29.4250^\circ$ pada sample C2H1K3L, $2\theta = 29.5175^\circ$ pada sample C2H24K24L, $2\theta = 29.4345^\circ$ pada sample C2H3K1L, Calcium Carbonate Phosphate Hydroxide ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)\text{OH}_2$), pada C2H1K3L terdapat pada posisi $2\theta = 31.6160^\circ$, sedangkan pada sample C2H3K1L fasa ini terdapat pada posisi $2\theta = 31.6160^\circ$, 32.0820° , dan pada C2H24K24L terdapat pada posisi $2\theta = 31.7568^\circ$ selain itu terdapat pula Chitosan pada sample C2H1K3L dengan posisi $2\theta = 23.1121^\circ$ dan $2\theta = 34.0710^\circ$, pada C2H24K24L Chitosan terdapat pada posisi $2\theta = 23.0729^\circ$, serta pada sample C2H3K1L yang terdapat pada posisi $2\theta = 23.0962^\circ$ dan $2\theta = 34.0714^\circ$. Pada ketiga sample tersebut terlihat bahwa intensitas kalsium karbonat paling tinggi diantara senyawa yang terbentuk lainnya, hal ini dikarenakan terdapat dua sumber kalsium karbonat yang diperoleh dari kalsium karbonat itu sendiri dan C-HA, sehingga terlihat bahwa senyawa ini mendominasi dalam hasil analisa XRD, hal ini dapat terjadi karena kalsium karbonat akan terdekomposisi jika proses pencampuran dilakukan diatas temperature 825°C , walaupun dalam proses pencampuran bahan dasar semen tulang dengan likuid MMA akan bersifat eksotermis, namun panas yang dihasilkan tidak cukup untuk memutus ikatan pada senyawa kalsium karbonat. Keberadaan Chitosan menunjukkan bahwa chitosan tidak mengalami dekomposisi, disisi lain terdapat Calcium Carbonate Phosphate Hydroxide menunjukkan adanya proses dekomposisi pada bahan yang digunakan.



4.2 Analisa Gugus Fungsi

Dalam penelitian kali ini, untuk melakukan analisa lebih jauh terhadap proses yang terjadi dalam pembuatan semen tulang maka dilakukanlah identifikasi gugus fungsi yang dilakukan dengan menggunakan FTIR, dengan hasil berupa grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 :hasil pengujian menggunakan FTIR

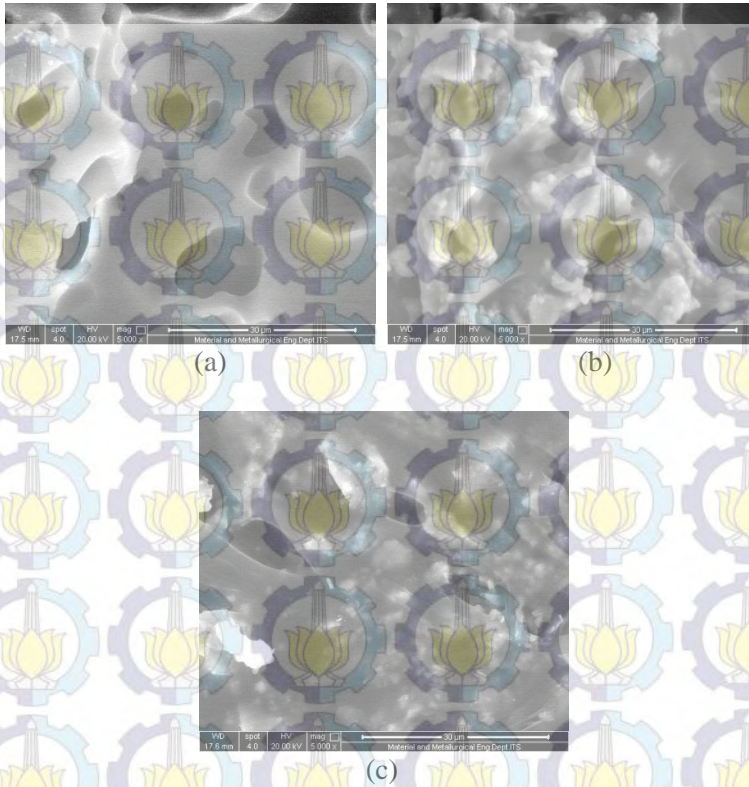
Pada gambar 4.2 Terlihat bahwa keenam pattern memiliki trend peak yang sama pada wave numbers 2300 yang merupakan absorbance band dari O-H, dan pada 3466 yang hanya dimiliki oleh C6L (kontrol), adanya gugus O-H ini



menunjukkan keberadaan Chitosan (Liu dkk, 2009). pada sample dengan kode H6L, K6L, C2H1K3L, C2H24K24L, C2H3K1L dan gugus fungsi O-H tidak terlihat, hal ini merujuk pada terjadinya proses dekomposisi yang terjadi saat proses pencampuran dilakukan. Selain itu dapat dilihat pula keberadaan gugus fungsi NH_2^- pada C6L dan K6L yang menandakan keberadaan chitosan. Sedangkan keberadaan gugus fungsi C-O, dan C=O, pada C6L merupakan absorption bands yang merujuk pada grup free amino yang identik dimiliki oleh chitosan (Shamnuka dkk, 2012). Gugus fungsi CO_3^{2-} yang berada pada H6L dan K6L menunjukkan adanya calcium carbonat, namun kandungan CO_3^{2-} dalam H6L lebih sedikit dibandingkan K6L hal ini terjadi karena K6L memiliki 68wt% (murni CaCO_3) sebagai bahan penyusunnya. Gugus PO_4^{3-} yang ditemui dalam sampe H6L, C2H24K24L, C2H3K1L dan C2H1K3L merupakan tanda keberadaan apatite, % absorbance tertinggi dimiliki oleh H6L, hal ini dapat terjadi karena H6L memiliki 68wt% C-HA sebagai bahan penyusun.

4.3 Analisa Morfologi Semen Tulang

Hal mendasar yang dibutuhkan semen tulang untuk membantu proses regenerasi tulang adalah tersedianya pori-pori yang terkoneksi satu sama lain, hal ini bertujuan untuk menyediakan ruang bagi sel tulang untuk berinfiltrasi menggantikan struktur semen tulang yang ada, untuk melihat struktur semen tulang yang terbentuk, analisa dilakukan menggunakan SEM, hasil analisa ini terlihat pada gambar 4.3 sampai dengan gambar 4.6.



Gambar 4.3 : morfologi permukaan semen tulang (a) C6L (b) H6L (c) K6L

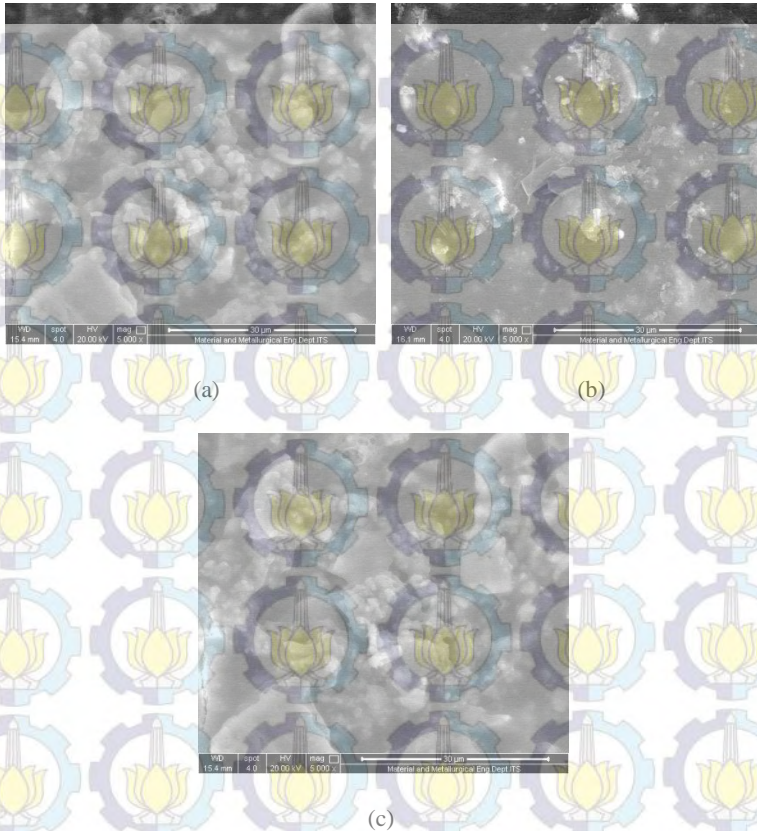


Gambar 4.4 : morfologi penampang melintang semen tulang (a) C6L (b) H6L (c) K6L

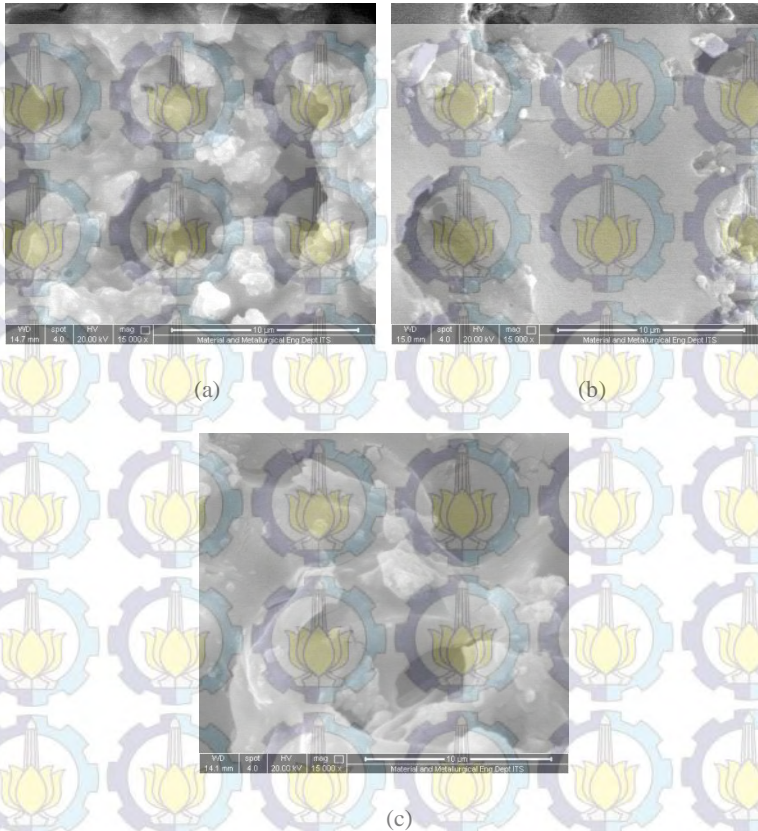


Pada permukaan sample dengan kode C6L terlihat bahwa semen tulang dengan rasio komposisi ini memiliki struktur pori yang terbentuk setelah proses pencampuran dilakukan (gambar 4.3 a), keberadaan pori ini dapat terlihat jelas dari hasil SEM yang didapat, selain itu penampang melintang dari C6L ini memiliki bentuk pori yang sama dengan pori yang berada dipermukaan semen tulang (gambar 4.4 a), hal ini membuktikan bahwa pori yang terbentuk terkoneksi ke seluruh bagian semen tulang. Berbeda dengan sample dengan kode H6L yang terlihat sangat kompak tanpa pori pada area permukaanya (gambar 4.3 b) dan pada penampang melintangnya (gambar 4.4 b). Sample dengan kode K6L memiliki pori-pori yang lebih sedikit dibanding dengan sampe C6L (gambar 4.3 a) dan struktur pada penampang melintang yang berbentuk granula tanpa pori (gambar 4.4 c).

Analisa pada ketiga sample semen tulang C2H1K3L, C2H24K24L, dan C2H3K1L dilakukan dengan cara yang sama, dengan hasil yang terdapat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.



Gambar 4.5 : morfologi permukaan semen tulang (a) C2H1K3L (b) C2H24K24L (c) C2H3K1L



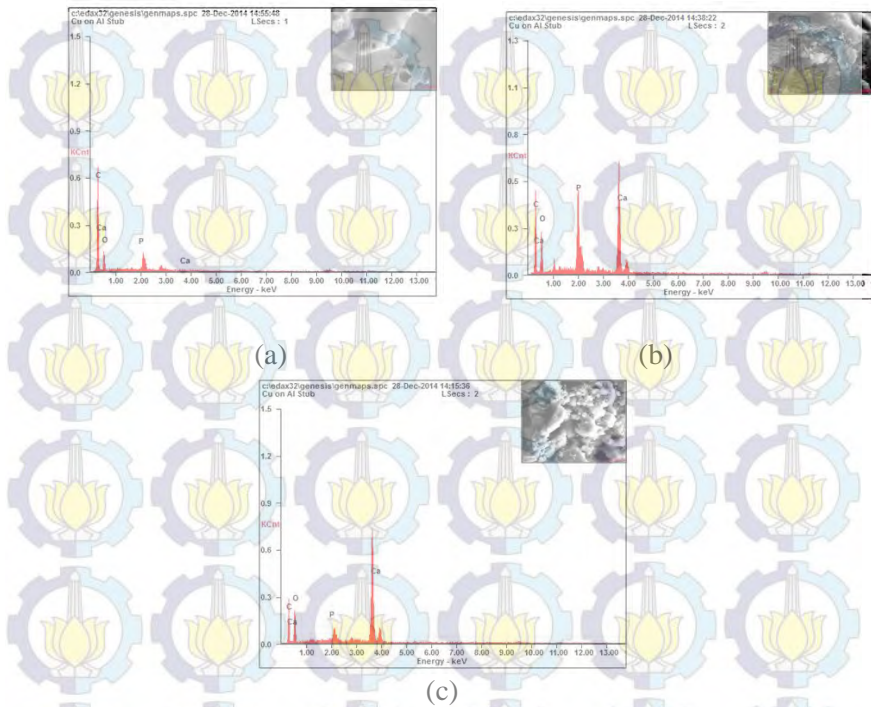
Gambar 4.6 : morfologi penampang melintang semen tulang (a) C2H1K3L
(b) C2H24K24L (c) C2H3K1L



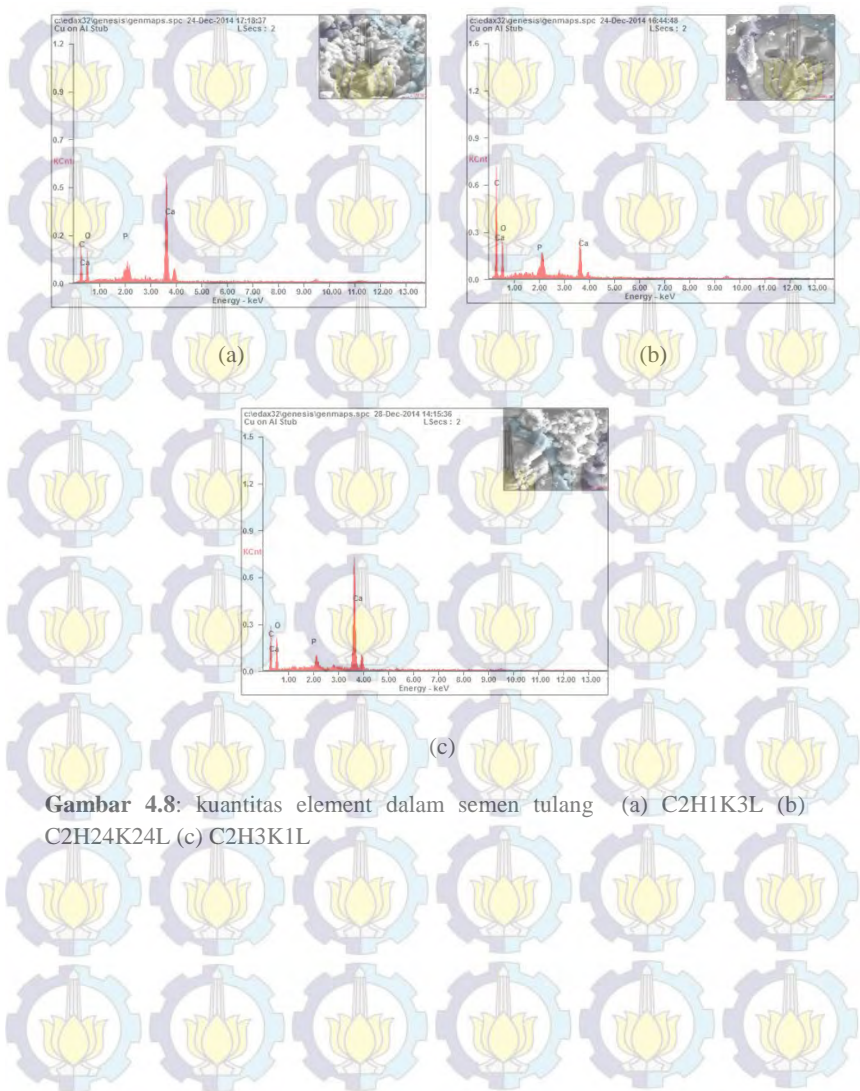
Pada sample dengan kode C2H1K3L terlihat bahwa permukaannya memiliki struktur berbentuk granula dengan ukuran pori yang relatif lebih kecil (gambar 4.5 a) dibanding pori pada sample C6L maupun K6L, selain itu sample dengan rasio ini memiliki penampang melintang dengan pori yang saling terhubung satu sama lain dengan ukuran yang terlihat uniform dengan permukaan (gambar 4.6 a). Sample dengan kode C2H24K24L menunjukkan struktur yang solid pada permukaannya (gambar 4.5 b) dan terlihat sejumlah pori – pori yang tersebar pada jarak yang relatif jauh satu sama lain (gambar 4.6 b). Sample C2H3K1L memiliki permukaan yang terlihat bergelombang (gambar 4.5 c) dan penampang melintang dengan jumlah pori sangat sedikit dan antar pori yang tidak terkoneksi (gambar 4.6 c).

4.4 Analisa Penyebaran Unsur Kimia Dalam Semen Tulang

Untuk memperkuat hasil dari pengujian FTIR dan XRD yang telah dilakukan, analisis komposisi kimia dari semen tulang beserta tipe penyebaran unsur kimianya dapat juga dilakukan dengan menggunakan EDX. Hasil dari pengujian ini berupa spektra fluktuatif yang menandakan tinggi rendahnya kadungan unsur sebagaimana terlihat dalam gambar 4.7 dan gambar 4.8.



Gambar 4.7: kuantitas element dalam semen tulang (kontrol) (a) C6L (b) H6L (c) K6L



Gambar 4.8: kuantitas element dalam semen tulang (a) C2H1K3L (b) C2H24K24L (c) C2H3K1L

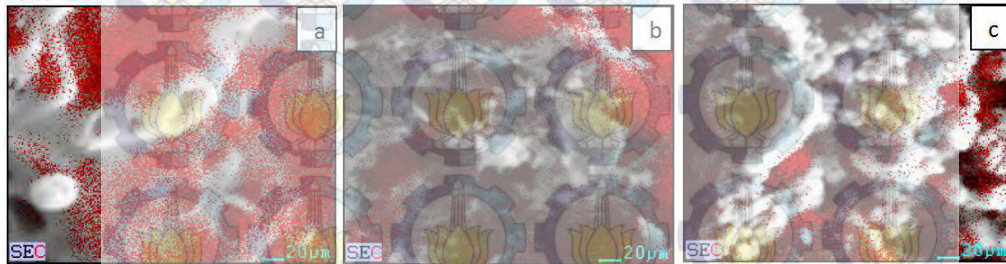


Keseluruhan kuantitas unsur yang didapat melalui analisa EDX terangkum dalam tabel 4.1.

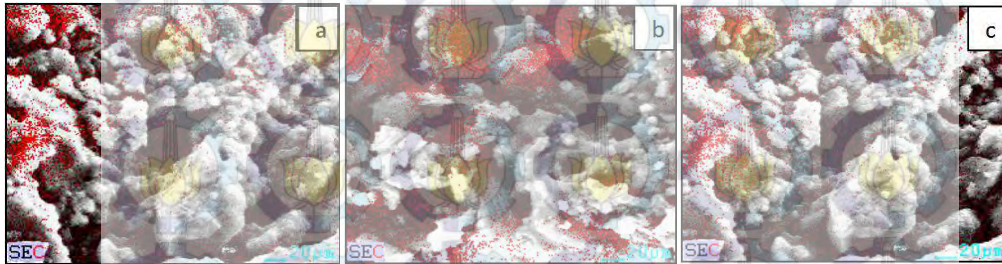
Tabel 4.1 : jumlah Wt % setiap unsur penyusun pada sample semen tulang

ELEMENT	RATIO (WT%)					
	C6L	H6L	K6L	C2H24K24L	C2H3K1L	C2H1K3L
C	66.4	35.65	19.95	47.46	30.82	20.15
O	30.52	28.23	40.30	36.23	35.49	36.89
P	01.68	12.32	00.88	03.05	05.25	03.87
Ca	00.24	20.02	37.72	12.26	26.81	36.71

Kehomogenitasan bahan penyusun setelah dilakukan proses pencampuran merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan keefektifan kerja semen tulang pada saat proses setting dan curing selesai. Salah satu cara untuk melihat kehomogenitasan unsur dalam semen tulang adalah dengan melihat peta penyebarannya dalam beberapa area tembakan oleh proses EDX seperti terlihat pada gambar 4.1 Untuk unsur C , O , P dan Ca.



Gambar 4.9 : penyebaran unsur C dalam kontrol semen tulang (a) C6L (b) H6L (c) K6L



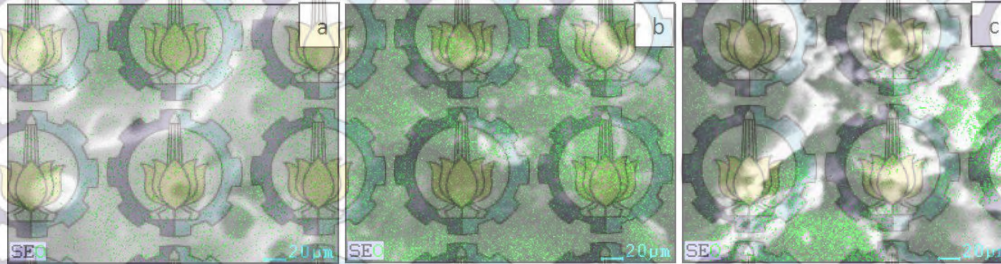
Gambar 4. 10: penyebaran unsur C dalam sample semen tulang (a) C2H1K3L (b) C2H24K24L (c) C2H3K1L



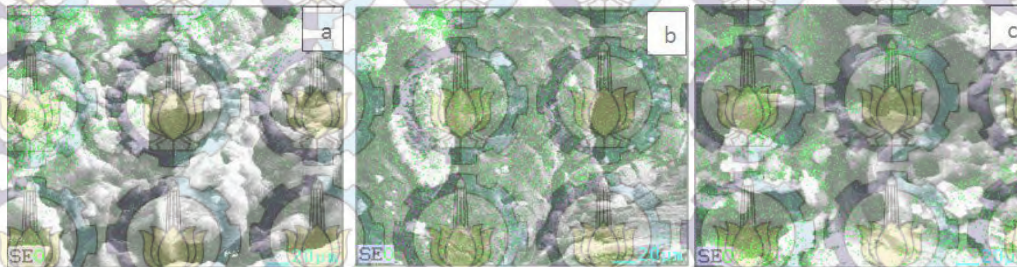
Secara kasat mata penyebaran unsur C yang terjadi pada C6L terlihat lebih merata (gambar 4.9 a) dibandingkan dengan kontrol semen tulang yang lain yang dibuktikan dengan rasio masa (wt%) sebesar 66.4 wt% yang merupakan rasio masa C tertinggi diantara kelima sample yang lain, pada H6L (gambar 4.9 b) penyebaran unsur C hanya terpusat pada titik-titik tertentu dengan intensitas yang cukup tinggi, sedangkan pada K6L (gambar 4.9 c), penyebaran unsur C hanya terjadi pada spot – spot kecil (intensitas rendah) yang lebih tersebar dibanding dengan H6L.

Penyebaran unsur C yang terjadi pada C2H24K24L terlihat menyebar rata dan terlihat menggumpal (gambar 4.10 b). Berbeda dengan C2H24K24L, penyebaran unsur C pada C2H3K1L terlihat lebih tidak merata, terdapat hanya pada titik-titik tertentu dengan intensitas yang bervariasi. Disisi lain, penyebaran unsur C pada C2H1K3L terlihat paling tidak merata dan hampir tidak ada, terlihat hanya beberapa area-area kecil dengan jumlah unsur yang sangat sedikit (gambar 4.10 a).

Selanjutnya, analisa penyebaran unsur O dalam kontrol semen tulang terlihat juga terlihat bervariasi seperti pada gambar 4.12.



Gambar 4.11 : penyebaran unsur O dalam kontrol semen tulang (a) C6L (b) H6L (c) K6L



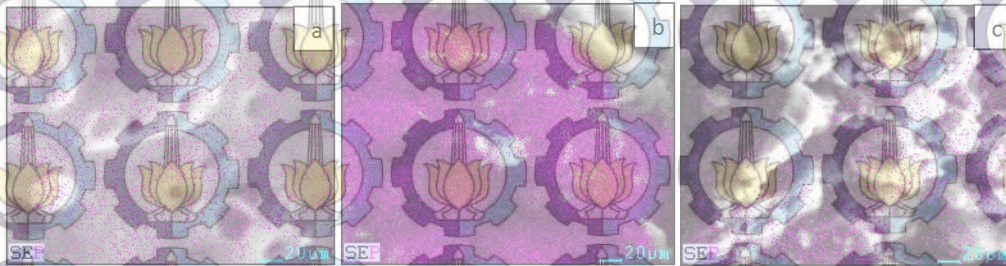
Gambar 4.12 : penyebaran unsur O dalam kontrol semen tulang (a) C2H1K3L (b) C2H24K24L (c) C2H3K1L



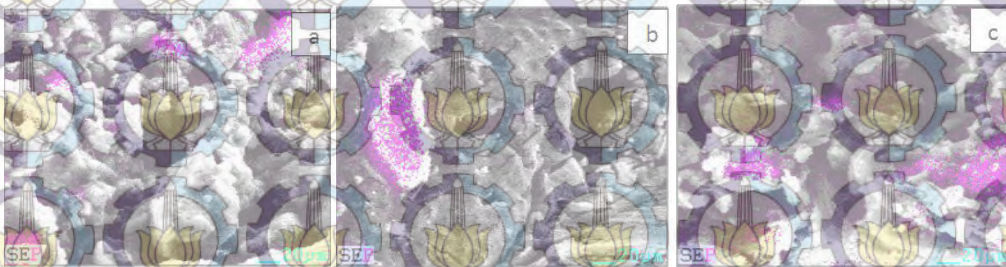
Skema penyebaran yang paling homogen terlihat pada sample H6L dengan area penyebaran paling luas (gambar 4.11 b) diantara 2 kontrol yang lain (C6L dan K6L), hal ini bertolak belakang dengan hasil pengukuran presentase masa (wt%) yang menunjukkan bahwa K6L memiliki presentase unsur O yang tertinggi diantara semua sample yang ada.

Dalam ketiga sample semen tulang yang dibuat (C2H1K3L, C2H24K24L, C2H3K1L,) skema penyebaran unsur O terlihat hampir merata ke semua area dengan intensitas yang bervariasi antara satu spot dengan spot lainnya (gambar 4.12 a, b, c) hal ini dibuktikan dengan didapatnya nilai presentase masa yang hampir sama diantara ketiganya yaitu 36.23, 35.49, dan 36.89.

Unsur lain yang terdapat dalam hasil analisa uji EDX adalah P, dengan skema penyebaran yang terlihat pada gambar 4.13 dan gambar 4.14.



Gambar 4.13 : penyebaran unsur P dalam kontrol semen tulang (a) C6L (b) H6L (c) K6L

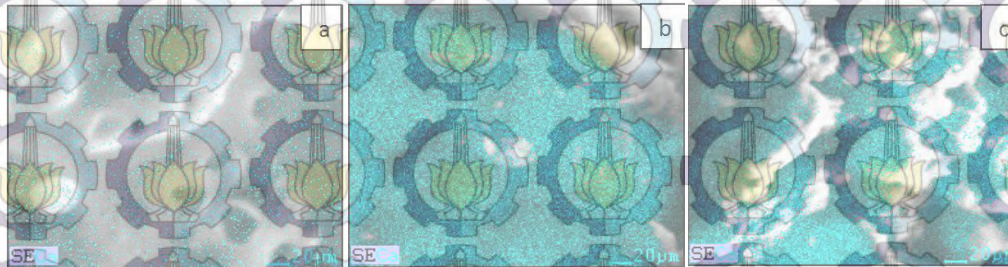


Gambar 4.14 : penyebaran unsur P dalam kontrol semen tulang (a) C2H1K3L (b) G2H24K24L (c) C2H3K1L

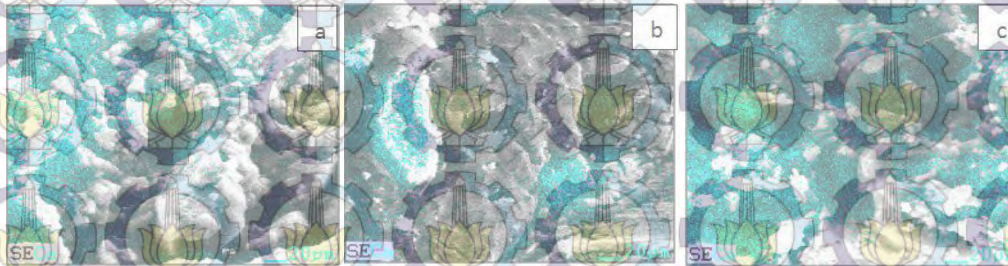


Penyebaran unsur P dalam kontrol H6L (gambar 4.13 b) terlihat paling merata diantara yang lainnya, hal ini dapat terjadi karena bahan penyusun utama dari sample ini merupakan C-HA murni yang merupakan bahan penyumbang utama unsur P dalam peran pembentukan apatite, selain itu penyebaran yang merata ini juga didukung oleh tingginya nilai presentase masa (wt%) unsur P dalam sample ini sebesar 12.32 wt%.

Pada ketiga sample semen tulang (C2H1K3L, C2H24K24L, C2H3K1L), terlihat bahwa penyebaran pada C2H24K24L hanya terjadi pada titik tertentu dengan pola menggumpal (gambar 4.14 b), sedangkan pada C2H3K1L penyebarannya lebih merata dibanding C2H24K24L dengan terbentuknya beberapa area gumpalan (gambar 4.14 c) hal ini dapat terjadi karena presentase masa (wt%) dari C-HA yang dimiliki sample ini lebih tinggi dari dua sample lainnya. Tidak berbeda jauh dengan C2H3K1L, C2H1K3L memiliki beberapa titik penyebaran unsur P dengan intensitas yang bervariasi (gambar 4.14 a).



Gambar 4.15 : penyebaran unsur Ca dalam kontrol semen tulang (a) C6L (b) H6L (c) K6L



Gambar 4.16 : penyebaran unsur Ca dalam kontrol semen tulang (a) C2H1K3L (b) C2H24K24L (c) C2H3K1L



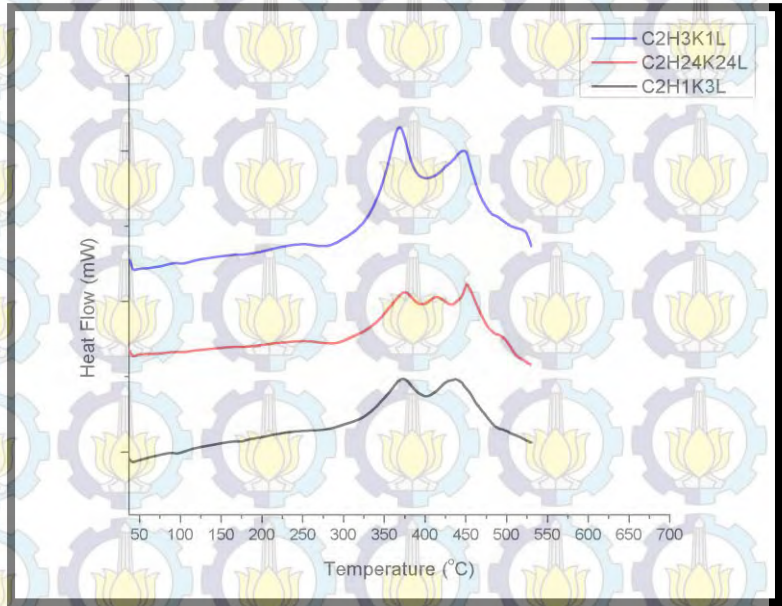
Penyebaran unsur Ca dalam kontrol semen tulang yang dibuat (C6L, H6L, K6L) menunjukkan bahwa H6L lebih homogen, hal ini terbukti dengan luasnya area penyebaran Ca yang didapat (gambar 4.15 b), namun hal ini bertolak belakang dengan hasil presentase masa (wt%) diantara ketiga kontrol yang menunjukkan K6L memiliki presentase masa Ca yang paling tinggi (37.72 wt%).

Pada ketiga sample semen tulang (C2H1K3L, C2H24K24L, C2H3K1L), terlihat bahwa penyebaran unsur Ca paling merata terjadi pada sample C2H3K1L (gambar 4.16 c), hal tersebut terlihat dari adanya banyak spot – spot Ca dibandingkan dengan dua sample yang lain. Hal ini pun berkebalikan dengan hasil perhitungan presentase masa oleh EDX yang menyatakan jumlah Ca yang dimiliki C2H1K3L sebesar 36.71 wt%.

Secara keseluruhan, hal yang paling berpengaruh dalam proses dispersi / penyebaran unsur – unsur penyusun semen tulang ini anatara lain lama dan kekuatan agitasi, serta kemampuan monomer-monomer untuk terpolimerisasi.

4.5 Analisa Sifat Thermal Semen Tulang

Analisa sifat thermal dalam sample semen tulang kali ini dilakukan menggunakan TGA dan DSC Mettler Toledo DSC822 dengan temperature pengujian 37⁰C sampai dengan 700⁰C, dengan kecepatan pemanasan sebesar 10⁰C/min dibawah pengaruh atmospher nitrogen. Penggunaan TGA bertujuan untuk menganalisa proses dekomposisi dan stabilitas thermal, sedangkan DSC digunakan untuk menganalisa efek dari kalor yang diberikan terhadap transisi fasa dan reaksi kimia yang terjadi. Hasil dari pengujian menggunakan TGA dan DSC ditunjukkan oleh gambar 4.17.



Gambar 4.17 : hasil uji DSC semen tulang

Analisa stabilitas thermal menggunakan DSC menunjukkan adanya trend/pattern yang berbeda diantara ketiga sample, untuk sample C2H3K1L memiliki satu peak, sedangkan C2H24K24L memiliki dua peak dan C2H1K3L memiliki satu step peak sama halnya dengan C2H1K3L, adanya kesamaan trend antara C2H1K3L dan C2H3K1L ini mengindikasikan adanya dominasi rasio dari bahan penyusunnya. C2H1K3L memiliki 36 wt% dari CaCO_3 , sedangkan C2H3K1L memiliki 36 wt% C-HA. Disisi lain, pada C2H24K24L memiliki 2 peak dikarenakan adanya rasio bahan penyusun yang sama yaitu 24 wt% CaCO_3 dan 24 wt% C-HA. Selain itu pada sample C2H3K1L terlihat memiliki peak-peak exothermic yang bersifat



tajam, hal ini dikarenakan sifat alami C-HA berupa penyerap panas (Lopez dkk, 2008).

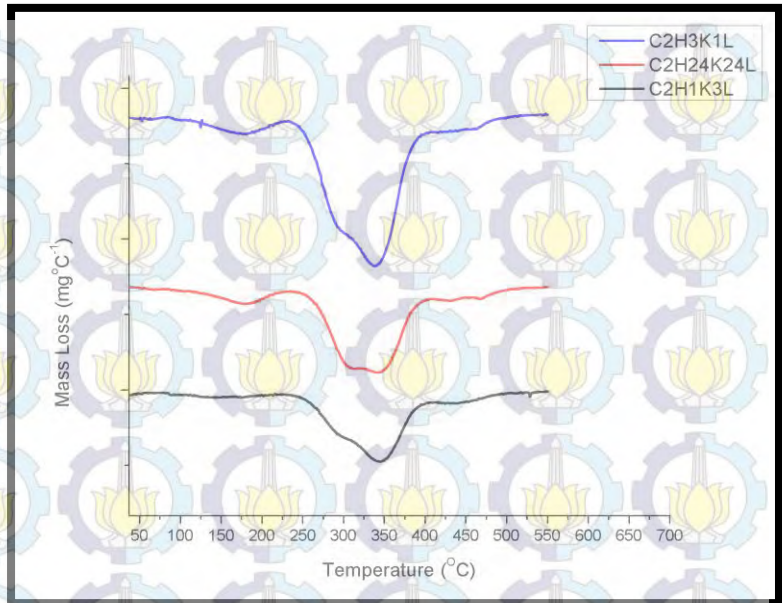
Dengan menggunakan hasil analisa DSC dan persamaan 3.2, kita dapat memperoleh nilai konduktivitas semen tulang yang terangkum dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 : konduktivitas thermal semen tulang

Sample	K pada $T = 37^{\circ}\text{C}$ ($\text{mW}/^{\circ}\text{C}$)	K pada $T = 45^{\circ}\text{C}$ ($\text{mW}/^{\circ}\text{C}$)
C2H1K3L	0.30	0.44
C2H24K24L	0.25	0.49
C2H3K1L	0.30	0.40
Human Bone	0.64	-

Temperatur 37°C dan 45°C dipilih saat melakukan perhitungan konduktivitas thermal pada semen tulang dengan tujuan temperatur 37°C merupakan temperatur normal tubuh, sedangkan 45°C merupakan temperatur yang diterima dari efek pengeboran tulang untuk pemasangan implant. Ketiga sampel semen tulang memiliki potensi untuk diaplikasikan, karena ketiganya memiliki koefisien konduktivitas thermal dibawah konduktivitas tulang manusia, sehingga kerusakan jaringan tubuh saat semen tulang menerima panas dapat dihindarkan.

Untuk mendukung analisa biocompatibility yang telah dilakukan dengan menggunakan FTIR dan DSC, digunakanlah TGA dengan Hasil pengujian yang terdapat pada gambar 4.18



Gambar 4.18 : hasil TGA semen tulang

Analisa TGA menunjukkan bahwa ketiga sample memiliki start untuk step decomposition yang berbeda yang menunjukkan perbedaan dalam proses dekomposisi, untuk sample C2H3K1L memiliki start step decomposition dengan temperature paling rendah diantara dua sample lainnya, C2H24K24L start untuk step decomposition bergeser kepada temperature yang lebih tinggi dibandingkan dengan C2H3K1L, sedangkan untuk C2H1K3L memiliki start decomposition dengan temperature paling tinggi diantara ketiganya sehingga pergeserannya paling besar, ketiga peak pada ketiga sample bersifat endothermis, untuk sample sample C2H3K1L memiliki peak endothermis paling tajam diantara ketiganya.



4.6 Analisa Kekerasan Semen Tulang

Analisa kekerasan pada berbagai macam rasio semen tulang yang dibuat dilakukan dengan menggunakan hardness test dengan beban maksimum untuk pengujian tulang sebesar 0.5 kgf dengan waktu indentasi selama 10 detik dan repetisi sebanyak 5 kali. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan data yang terangkum dalam tabel 4.4 :

Tabel 4.3 : data kekerasan semen tulang

Sample	Kekerasan (HV)
Dry cancelous bone	35.0
C2H3K1L	28.74
C2H24K24L	29.97
C2H1K3L	36.84
CEMEX RX (commercial product)	31.00

Dari hasil pengujian keempat sample semen tulang di atas, terlihat bahwa semen tulang dengan kode C2H1K3L memiliki nilai kekerasan paling tinggi sebesar 36.84 HV dengan rasio chitosan : C-HA : Karbonat : Likuid = 20 : 12 : 36 : 32. Diikuti dengan dry bone cement komersial sebesar 35.0 HV, semen tulang dengan kode C2H24K24L sebesar 29.97 HV dengan rasio chitosan : C-HA : Karbonat : Likuid = 20 : 24 : 24 : 32 dan C2H3K1L sebesar 28.74 HV dengan rasio chitosan : C-HA : Karbonat : Likuid = 20 : 36 : 12 : 32. C2H1K3L menunjukkan



nilai hardness tertinggi karena adanya rasio karbonat yang lebih tinggi dibanding rasio bahan penyusun lainnya, karbonat dalam semen tulang kali ini memiliki peran sebagai *anchor* atau pengikat yang memberikan kontribusi kekuatan yang paling besar

4.7 Analisa Sifat Anti Bakteri

Daya tahan semen tulang terhadap bakteri penyebab infeksi yang akan selalu muncul disetiap proses pemasangan implant dapat dilihat dari pengujian anti bakteri yang dilakukan dengan menggunakan bakteri *Staphylococcus aureus sp.*, bakteri ini akan ada jika daerah sekita implant mengalami inflamasi. Kekuatan dari semen tulang untuk menghindarkan pasien dari bakteri ini ditunjukkan oleh radius halo inhibition yang terdapat pada tabel 4. 4 berikut :

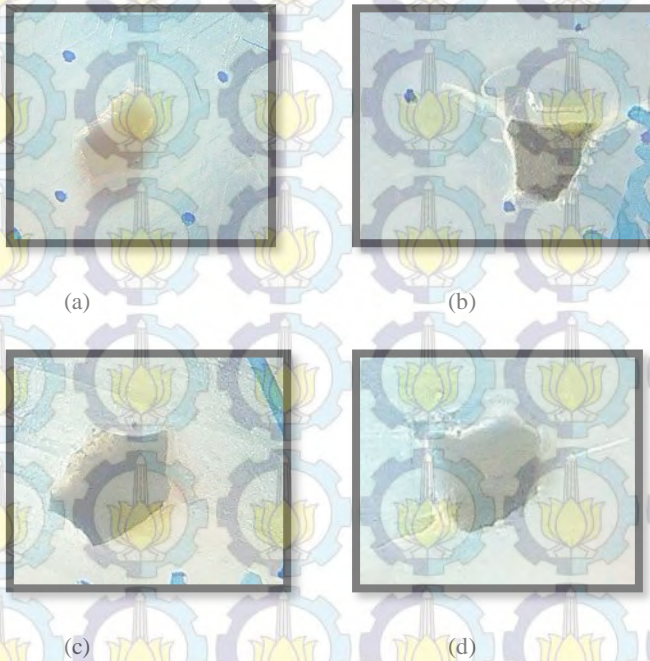
Tabel 4.4: Panjang zona halo inhibition

	RATIO			
	C6L	C2H1K3LC	C2H24K24L	C2H3K1L
Zona halo inhibition	15.75 mm	7.7 mm	14.2 mm	7.5 mm

Dari keempat sample diatas, C6L merupakan variabel kontrol dikarenakan sampel ini hanya tersusun oleh chitosan yang merupakan bahan dengan sifat anti bakteri dan MMA sebagai matriks. Dapat dilihat bahwa C6L memiliki radius



zona hambat paling maksimum diantara ketiga sampel yang lain sebesar 15.75 mm, C2H24K24 memiliki radius zona hambat kedua terpanjang setelah C6L, lalu C2H1K3L sebesar 7.7 mm dan C2H3K1L sebesar 7.5 mm. Sebagaimana zona hambat yang telah dipaparkan diatas dapat dilihat pada gambar 4.19 Berikut :



Gambar 4.19 : mekanisme pembentukan zona hambat oleh semen tulang yang mengandung Chitosan (a) C6L (b) C2H1K3L (c) C2H24K24L (d) C2H3K1L

Pada gambar 4.19 a dengan kode sample C6L terlihat jelas bahwa zona hambat yang terbentuk cukup luas, sedangkan untuk C2H24K24L (gambar 4.19 b) zona hambat yang terbentuk lebih kecil. C2H3K1L (gambar 4.19 c) memiliki zona



hambat terkecil diantara keempat sample lainnya, zona hambat yang terbentuk hanya menempel pada sample yang ada dan tidak menyebar keluar, berbeda dengan C2H1K3L (gambar 4.19 d) yang memiliki zona hambat sedikit lebih besar dari C2H3K1L, meskipun hanya terbentuk seperti selaput tipis pada area permukaan. Secara umum, kebanyakan semen tulang dikatakan layak digunakan ketika radius halo inhibisinya minimal 1mm (Miola dkk, 2014), oleh karena itu keempat sample ini memiliki potensi untuk diaplikasikan di dunia orthopedic.



BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Semua sample tulang memiliki potensi untuk diaplikasikan, karena ketiganya memiliki nilai konduktivitas thermal yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai konduktivitas tulang manusia ($0.64 \text{ mW/}^{\circ}\text{C}$) yaitu sebesar $0.30 \text{ mW/}^{\circ}\text{C}$ untuk C2H1K3L, $0.25 \text{ mW/}^{\circ}\text{C}$ untuk C2H24K24L, dan $0.30 \text{ mW/}^{\circ}\text{C}$ untuk C2H1K3L pada temperatur 37°C dan $0.44 \text{ mW/}^{\circ}\text{C}$ untuk C2H1K3L, $0.49 \text{ mW/}^{\circ}\text{C}$ untuk C2H24K24L, dan $0.40 \text{ mW/}^{\circ}\text{C}$ untuk C2H3K1L pada temperatur 45°C , selain itu semua sample semen tulang memiliki nilai zona halo inhibition lebih besar dari batas minimum (1mm) yang digunakan sebesar 7.7 mm (C2H1K3L) , 14.2 mm (C2H24K24L) dan 7.5 mm (C2H3K1L). Penambahan CaCO_3 akan membuat semen tulang memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dan porositas yang terkoneksi, dua hal ini merupakan syarat terjadinya osteokunduksi dan osteointegrasi pada tulang.

5.2 Future Works

Melakukan variasi raw material dengan mengeksplor potensi di lingkungan sekitar yang ada, serta melakukan uji SBF (Simulated Body Fluid) untuk melihat tingkat degradasi dari semen tulang yang dibuat



(Halaman ini sengaja dikosongkan)





TINJAUAN PUSTAKA

Burcu, Basgorenay. **Preparation and Characterization of Hydroxyapatite Containing Acrylic Bone Cement.** 2004.

Mohammed, Khaled., Beherei, Hanan., El-Rashidy, Zenab. **In vitro study of nano-hydroxyapatite/chitosan-gelatin composites for bio application.** J.Adv.Res. 5 (2014)201-204.

Zhang, H.Y., Blunt, L.A., Jiang, X.Q. **The influence of bone cement type on production of fretting wear on the femoral stem surface : A preliminary study.** Clinical Biomechanics.27 (2012)666-672.

Fuentes, G., Gonzales, M., Perez, G., Delgado. **A. Influence of the composition on setting time and porosity in hydroxyapatite cements with alginate and chitosan.** Latin American Applied Research. 35 (2005) 289-294.

Ge, Zigang., Baguenard, Sophie., Lim, Lee Yong., Wee, Aileen. **Hydroxyapatite- chitin as potensial tissue engineered bone substitutes.** Biomaterials. 25 (2004)1049-1058.

Kim, Fernandez., Ok, Sun. **Physicochemical and functional properties of crawfish chitosan as affected by different processing protocols.** Thesis. 2004

Puvvada, Yateendra Shanmuka., Vankayalapati, Saikishore. **Extraction of chitin from exoskeleton of shrimp for application in the pharmaceutical industry.** J. Intl. Current. Pharmaceutical. 2012.



Zhang, Jing tao., Liu, Weizhen., Schnitzler, Verena. **Calcium phospahte cements for bone subdtitution : chemistry, handling and mechanical properties.** Acta biomaterials.10 (2014)1035-1049.

Long, Judson Hwang Wong Shyh. **Synthesis and characterisation of chitosan from shrimp shells.** Thesis 2013.

Komlev, VS., Mastrogiacomo, M. Pereira, R.C., Peyrin, F. **Biodegradation of porous calcium phosphate scaffolds in an ectopic bone formation model studied by X-ray computed microtomography.** European Cells and Materials. 19 (2010) 136-146.

Aranaz, Inmaculada., Mengibar, Marian., Harris, Ruth., Panos, Ines. **Functional characterization of chitin and chitosan.** J. Current Chemical biology. 23 (2009)203-231.

Elliot, JC., WILSON, RM., Dowker, SEP. **Apatite structures.** Intl. Centre for diffraction. 45 (2002).172-182.

Uddin, Mohammad Hafiz., Matsumoto, Takuya., Okazaki, Masayuki. **Biomimetic fabrication of apatite related biomaterials.** 14. 289-307.

Kruger, Reinhard., Groll, Jurgun. **Fiber reinforced calcium phosphate cements on the way to degradable load bearing bone substitutes?.** University Hospital Wuerzburg. Dept. Function materialsin medicin.



Ono, K., T, Yamamuro., T, Nakamura. Kokubo, T. **Mechanical properties of bone after implantation of apatite-wollastonite containing glass ceramic-fibrin mixture.** 24 (1990) 47-63.

Nasaraju, T.S.B., D.E, Phebe. **Some physicochemical aspects of hydroxyapatite.** J. Mat. Sci. 31 (1996) pp.1.

Minke, R., J, Blankwell. **The structural of alpha-chitin.** J. Mol. Bio. 120 (1978) 167-181.

Gardner, K.H., J, Blankwell. **Refinement of the structure of betha-chitin.** 14 (1975) 1582-1595.

Robert, G.A.F. **Chitin Chemistry.** 1st edition. 1992

Karimzadesh, A., Ayatollahi, M.R., **Investigation of Mechanical and Tribological Properties of Bone Cement by Nano-Indentation and Nano-scratch Experiments.** 35 (2012) 828-883.

Miola, Marta., Bruno, Matteo. **Antibiotic-free Composite Bone Cements with Antibacterial and Bioactive Properties, A preliminary Study.** C43 (2014) 65-75.

Zysset, P., **Indentation of Bone Tissue: a Short Review.** 20 (2009) 1049-1055.

Connelley, Haley. **Aging and Thermal Effects on the Properties of Defleshed Bones.** 2010



Venkateswarlu, K., Sandhyarani, M. **Estimation of Crystallite Size, Lattice Strain and Dislocation Density of Nanocrystalline Carbonate Substituted Hydroxyapatite by X-ray Peak Variance Analysis.** 5 (2014) 212-221

Liu, Jingxiao., Shi, Fei. **Synthesis of Chitosan-Hydroxyapatite Composite and its Effect on the Properties of Bioglass Bone Cement.** 25 (2009) 551-556.

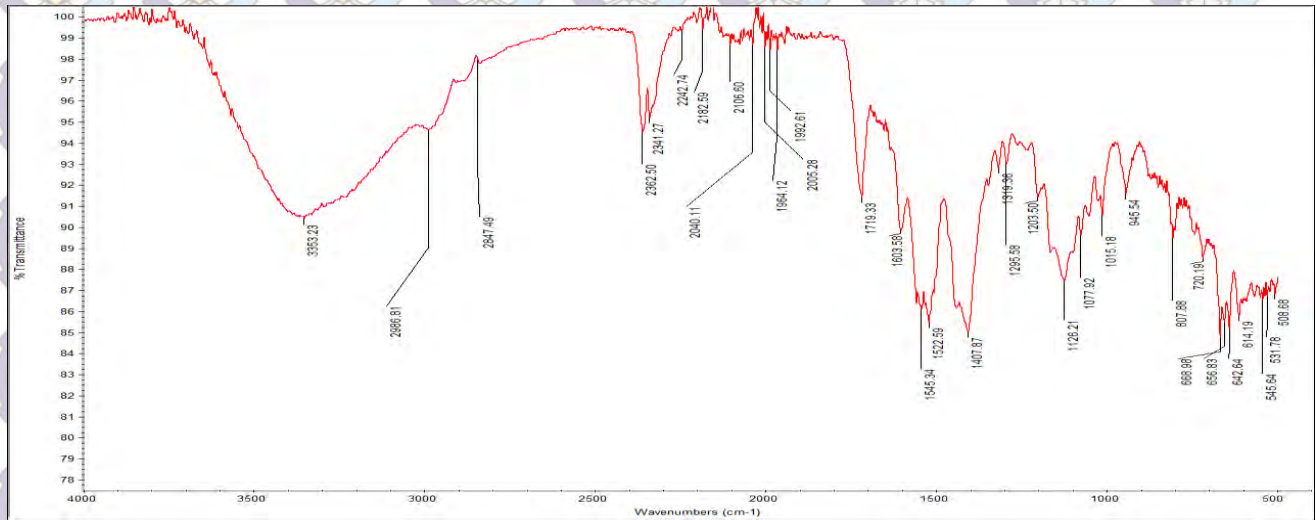
Kim, Sungjin., Park, Cha Beum. **Mussel-inspired Transformation of CaCO_3 to Bone Minerals.** 31 (2000) 6628-6634.

Lopez, M., Fuentes, G. **PMMA/ Ca^{2+} Bone Cements. Part I. Physico Chemical and Thermoanalytical Characterization.** 38 (2008) 227-234.

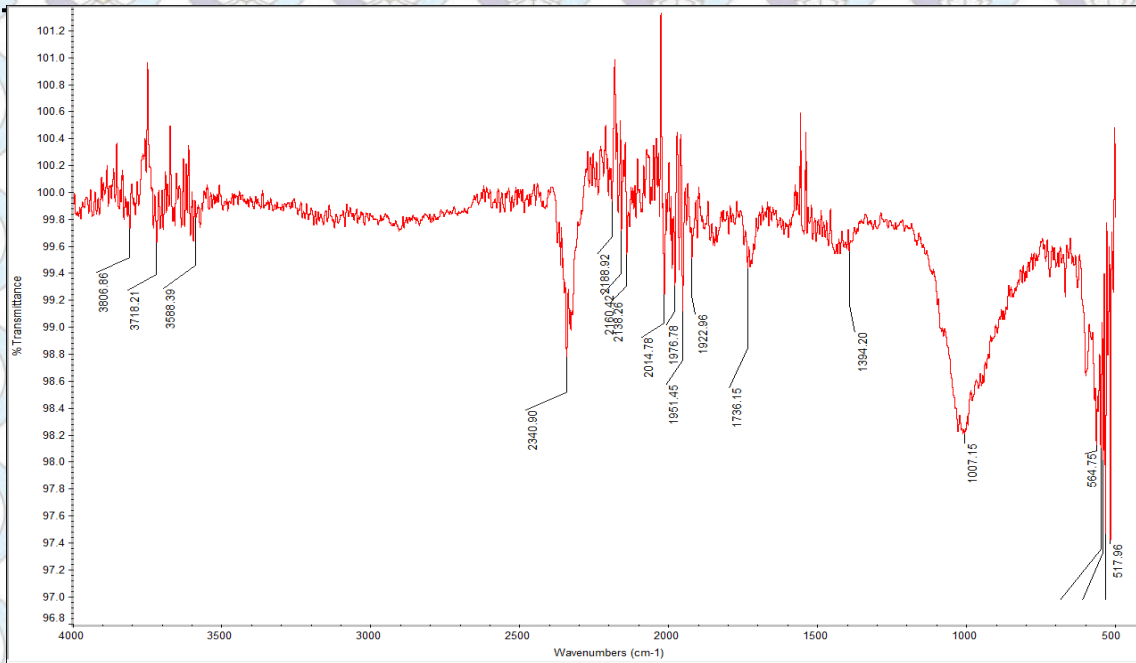


LAMPIRAN

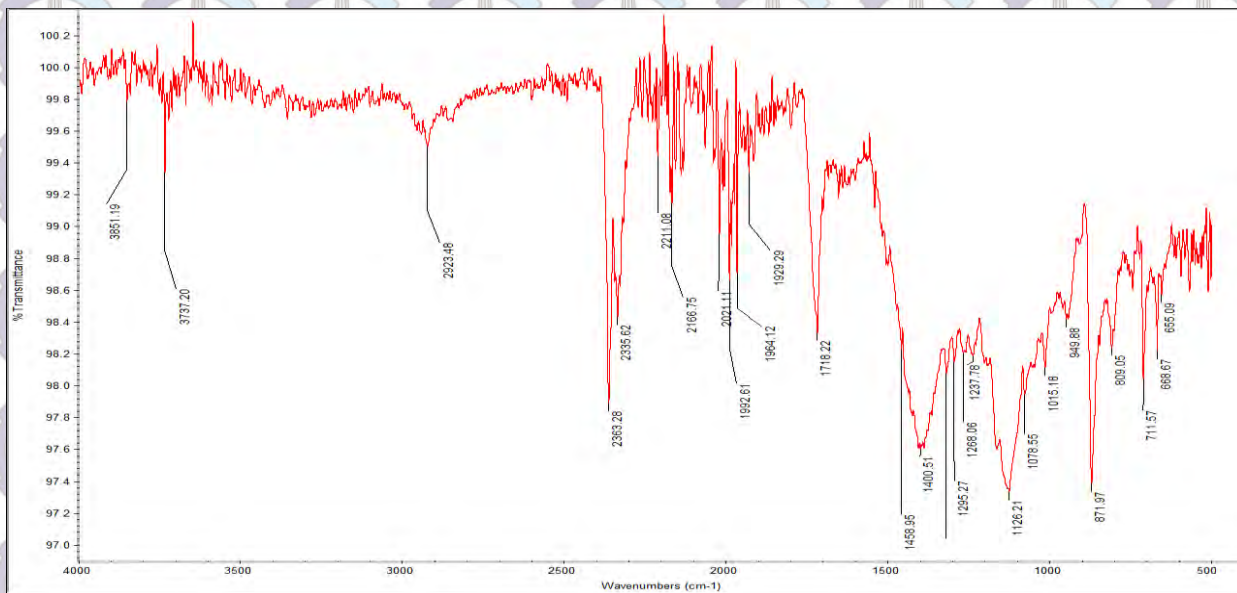
A. DATA PENGUJIAN FTIR



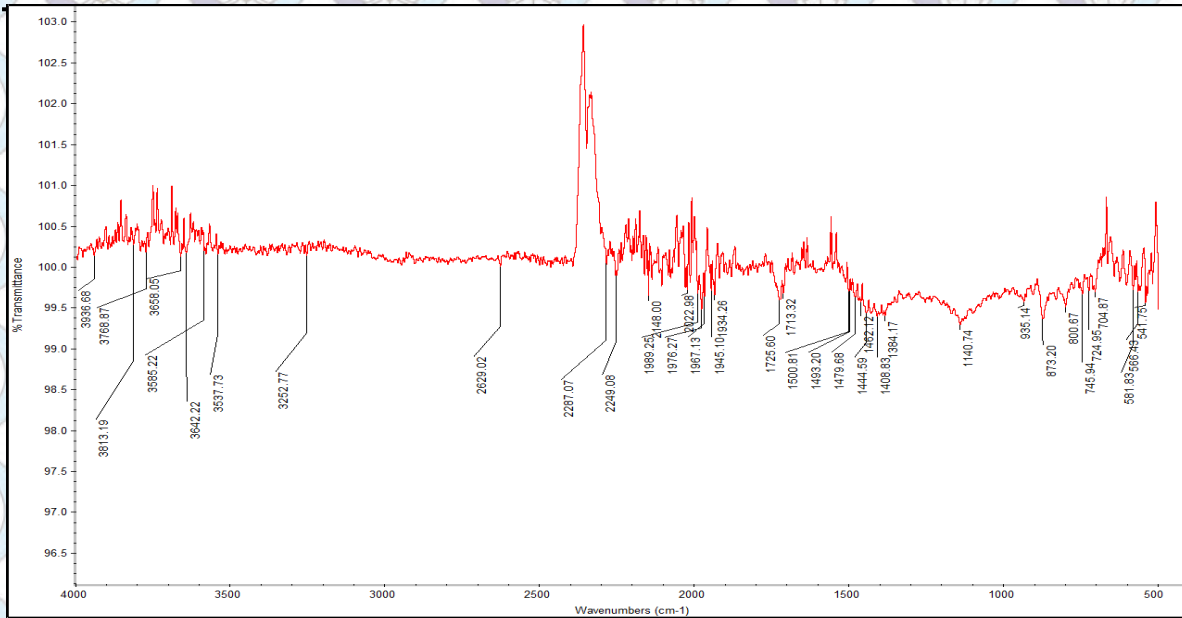
Gambar 1: kontrol C6L



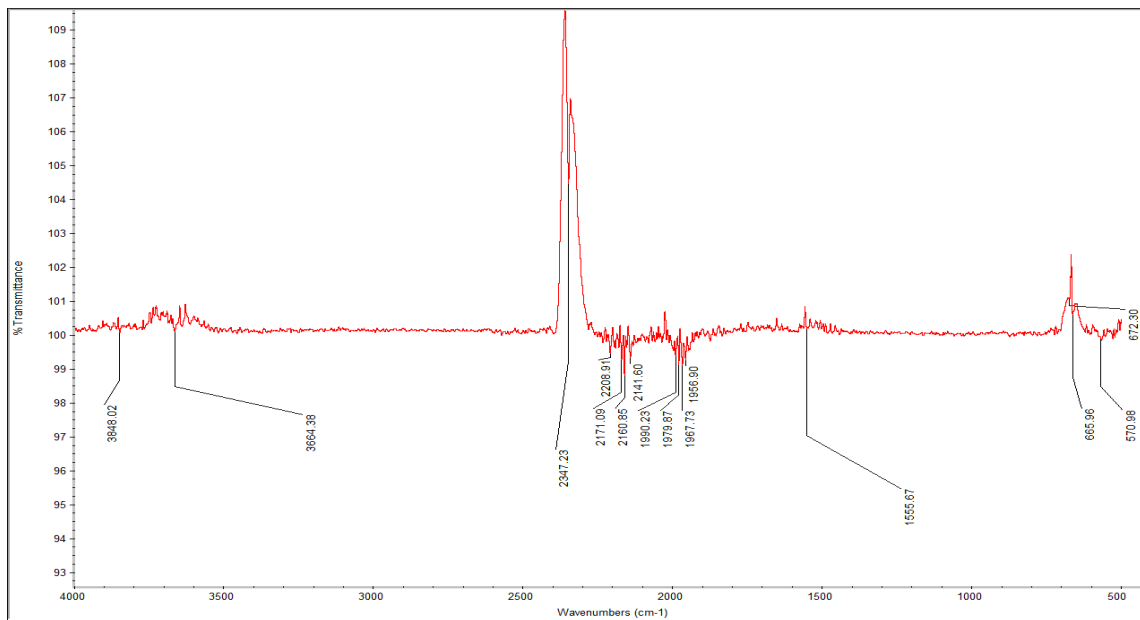
Gambar 2 : kontrol H6L



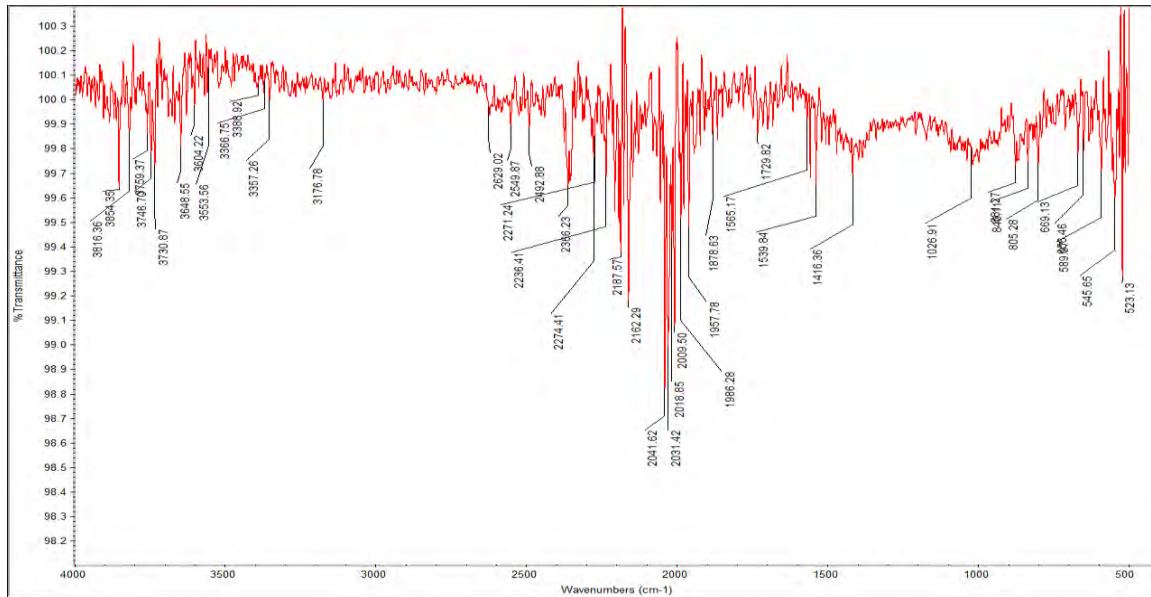
Gambar 3: kontrol K6L



Gambar 4: sample C2H1K3L



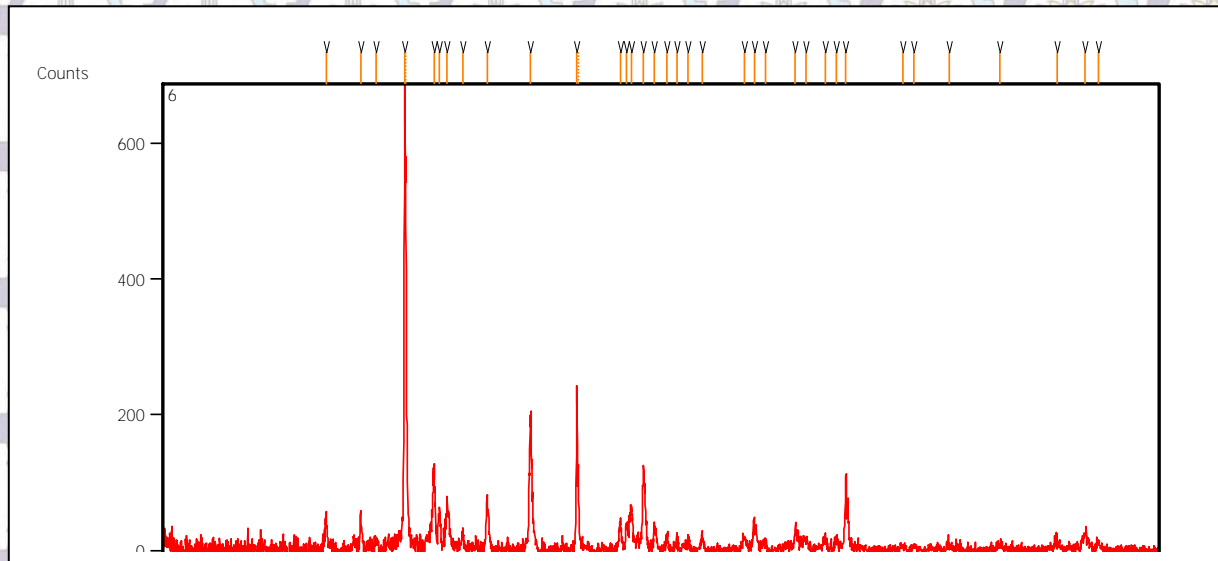
Gambar 5: sample C2H24K24L



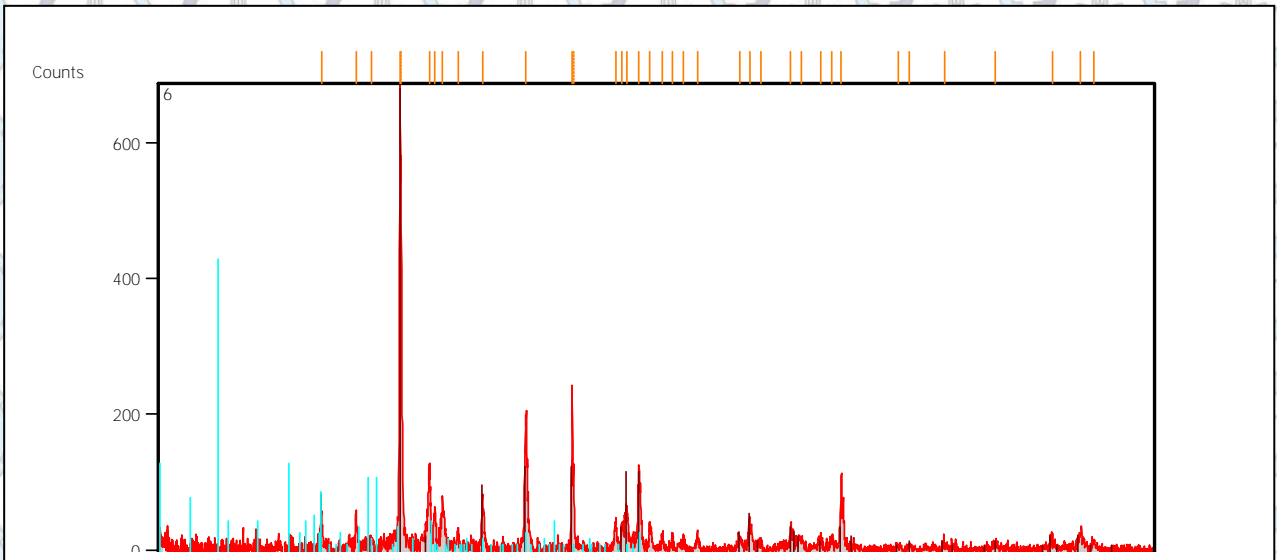
Gambar 6: sample C2H3K1L



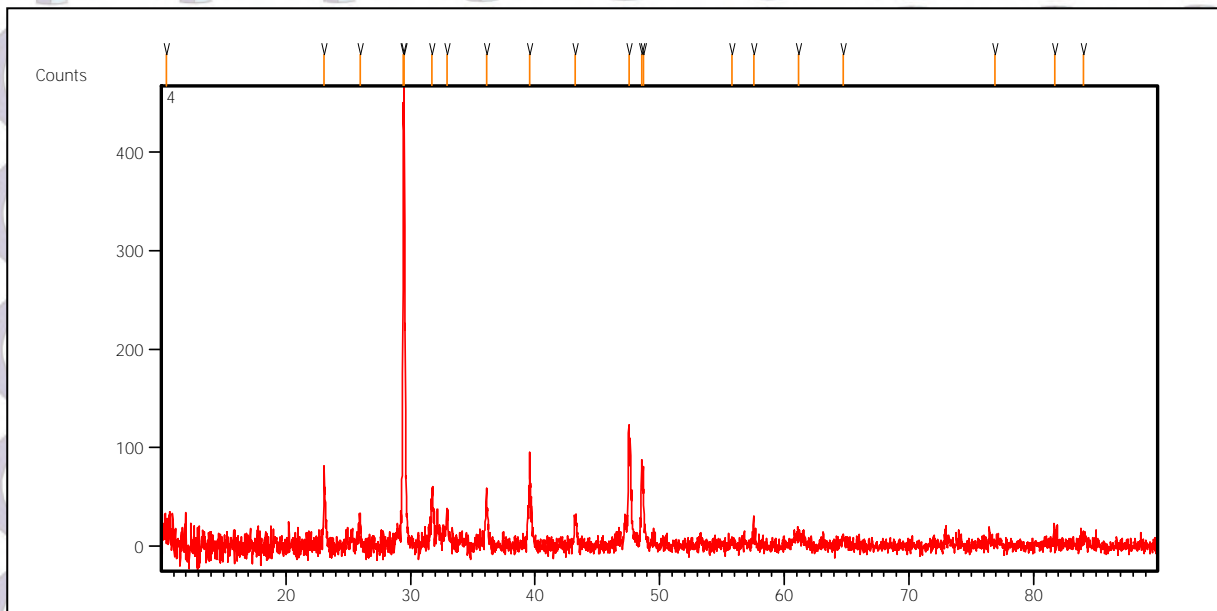
B. DATA PENGUJIAN XRD



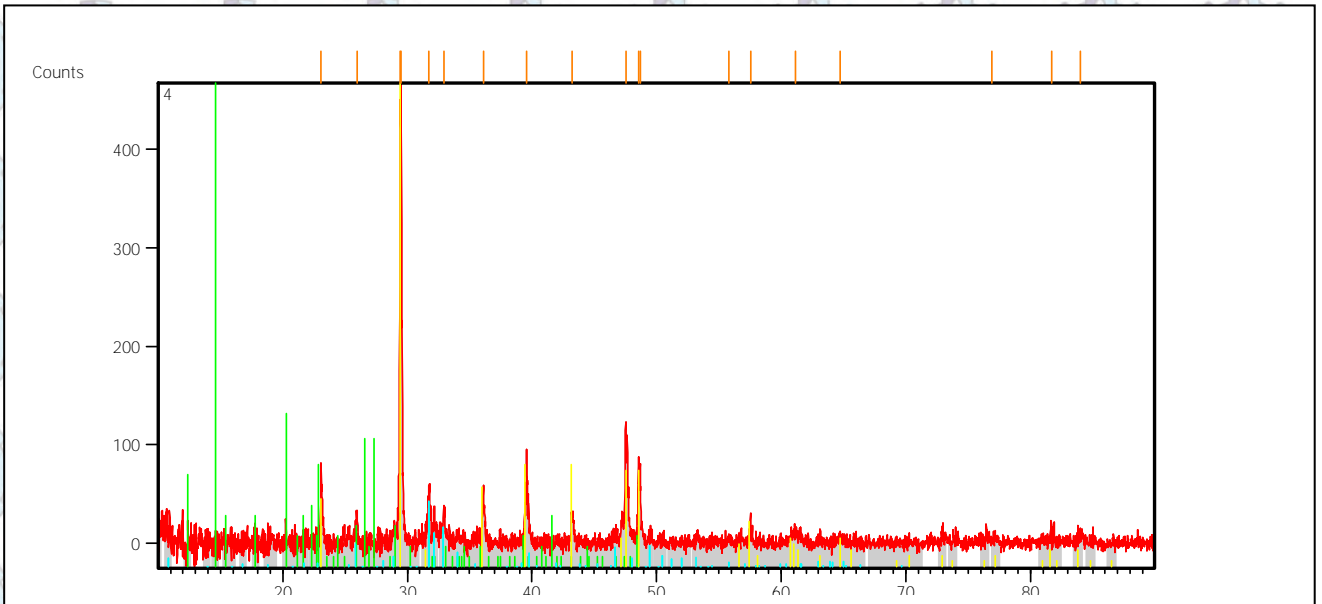
Gambar 7: XRD C2H1K3L sebelum proses match



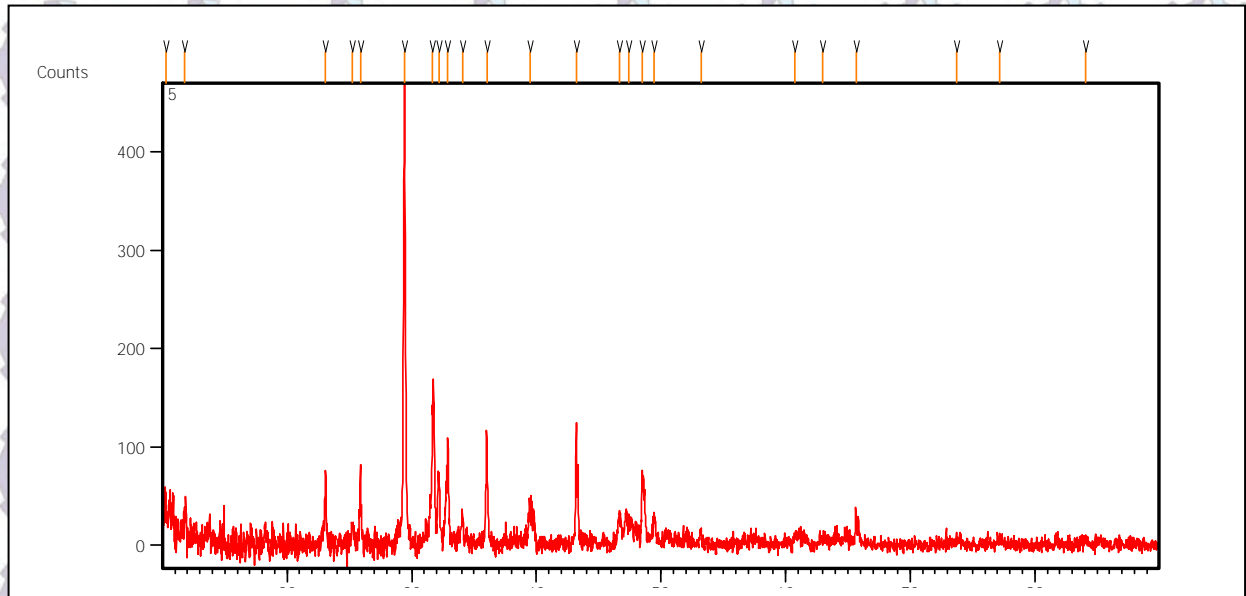
Gambar 8: XRD C2H1K3L sesudah proses match



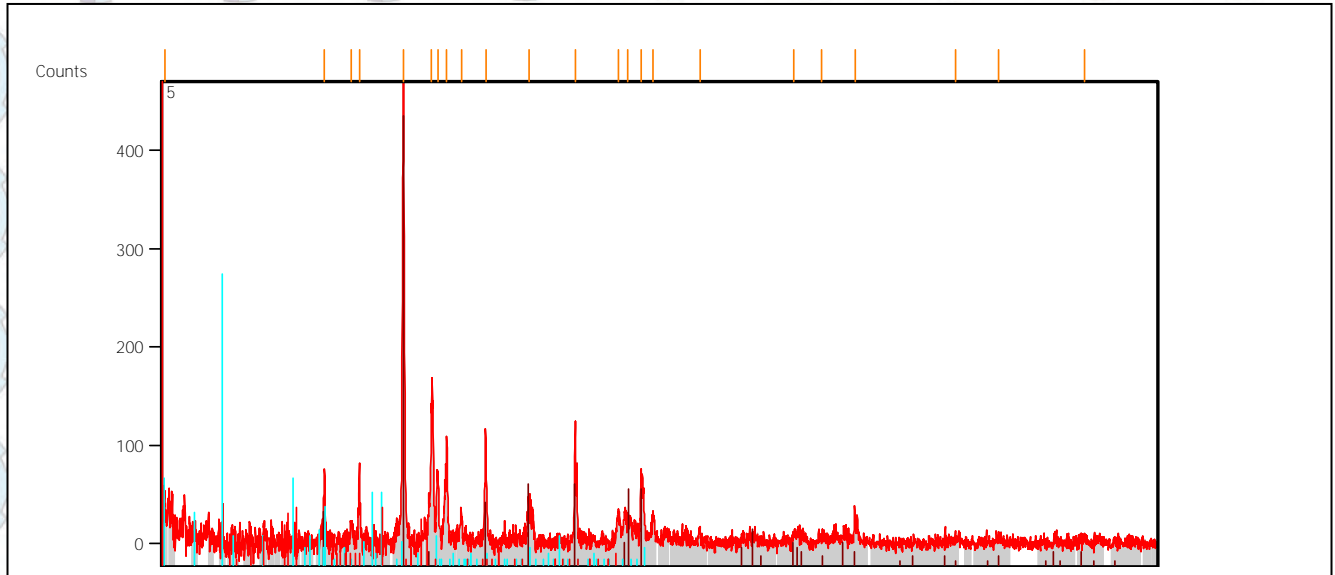
Gambar 9 : XRD C2H24K24L sebelum proses match



Gambar 10 : XRD C2H24K24L setelah proses match



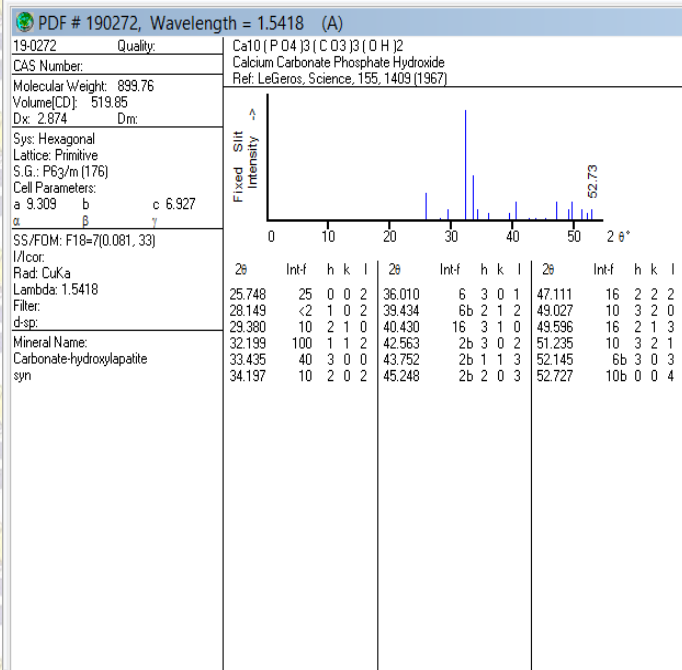
Gambar 11 : XRD C2H3K1L sebelum proses match



Gambar 12 : XRD C2H3K1L setelah proses match



C. DATA JCPDF



DATA ICDD CALCIUM PHOSPHATE HYDROXIDE

Name and formula

Reference code:

01-072-9862

Mineral name:

Carbonate-hydroxylapatite,
syn (NR)

Compound name:

Calcium Carbonate
Phosphate Hydroxide



Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	8.22130	10.753	7.1
2	1	0	1	5.28020	16.777	3.4
3	1	1	0	4.74660	18.679	1.2
4	2	0	0	4.11060	21.601	3.2
5	1	1	1	3.90860	22.732	4.0
6	2	0	1	3.53000	25.208	1.4
7	0	0	2	3.44440	25.846	28.2
8	1	0	2	3.17680	28.066	3.4
9	1	2	0	3.10740	28.706	15.2
10	1	2	1	2.83250	31.561	100.0
11	1	1	2	2.78770	32.082	64.8
12	3	0	0	2.74040	32.651	68.5

Name and formula

Reference code:

01-072-9863

Mineral name:

Carbonate-hydroxylapatite,
syn (NR)

Compound name:

Calcium Carbonate
Phosphate Hydroxide

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	8.20260	10.777	7.7
2	1	0	1	5.27880	16.782	3.4
3	1	1	0	4.73580	18.722	1.1
4	2	0	0	4.10130	21.651	3.7
5	1	1	1	3.90400	22.759	4.4
6	2	0	1	3.52510	25.244	1.6
7	0	0	2	3.44840	25.815	29.6
8	1	0	2	3.17890	28.047	4.1
9	1	2	0	3.10030	28.773	15.8
10	1	2	1	2.82770	31.616	100.0
11	1	1	2	2.78770	32.082	64.6
12	3	0	0	2.73420	32.727	66.0
13	2	0	2	2.63940	33.937	16.7
14	3	0	1	2.54180	35.282	3.2
15	2	2	0	2.36790	37.969	0.3
16	1	2	2	2.30550	39.037	4.1
17	1	3	0	2.27500	39.582	19.8
18	2	2	1	2.23960	40.235	0.5
19	1	0	3	2.21260	40.728	0.4



DATA ICDD CALCIUM CARBONATE

Name and formula

Reference code:

00-002-0261

Mineral name:

Vaterite

Compound name:

Calcium Carbonate

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	2	4.28000	20.737	100.0
2	1	0	0	3.57000	24.921	70.0
3	1	0	1	3.27000	27.250	70.0
4				3.00000	29.757	50.0
5	1	0	2	2.71000	33.027	100.0
6				2.54000	35.308	20.0
7				2.29000	39.312	70.0
8	1	1	0	2.06000	43.917	100.0
9	1	1	2	1.84000	49.498	100.0
10				1.59000	57.955	70.0
11	1	0	5	1.54000	60.026	50.0

Name and formula

Reference code:

00-002-0623

Mineral name:

Calcite

Compound name:

Calcium Carbonate

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	4	3.03000	29.455	100.0
2	1	1	0	2.49000	36.041	40.0
3	1	1	3	2.28000	39.492	60.0
4	2	0	2	2.10000	43.038	60.0
5	0	2	4	1.92000	47.306	80.0
6	1	1	6	1.87000	48.652	70.0
7	1	2	2	1.60000	57.559	50.0
8	2	1	4	1.52000	60.899	50.0
9	3	0	0	1.44000	64.678	40.0
10	2	1	7	1.36000	68.999	10.0



Name and formula

Reference code:

00-002-0629

Mineral name:

Calcite

Compound name:

Calcium Carbonate

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3.84000	23.144	60.0
2	1	0	4	3.02000	29.555	100.0
3	1	1	0	2.49000	36.041	60.0
4	1	1	3	2.28000	39.492	70.0
5	2	0	2	2.09000	43.254	70.0
6	0	2	4	1.92000	47.306	90.0
7	1	1	6	1.87000	48.652	80.0
8	2	1	1	1.62000	56.783	40.0
9	1	2	2	1.60000	57.559	50.0
10	2	1	4	1.52000	60.899	60.0
11	1	2	5	1.47000	63.204	40.0
12	3	0	0	1.44000	64.678	50.0
13	0	0	12	1.42000	65.703	40.0
14	2	1	7	1.36000	68.999	10.0
15	0	2	10	1.33000	70.785	40.0
16	1	2	8	1.29000	73.330	30.0
17	2	2	0	1.24000	76.809	20.0
18	2	1	10	1.18000	81.506	40.0
19	1	3	4	1.15000	84.107	40.0
20	2	2	6	1.14000	85.017	40.0

Name and formula

Reference code:

00-003-0405

Mineral name:

Aragonite

Compound name:

Calcium Carbonate

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	3.39000	26.268	100.0
2				3.01000	29.655	30.0
3	1	2	1	2.72000	32.902	80.0
4	1	0	2	2.50000	35.892	65.0
5	1	1	2	2.36000	38.101	80.0
6	2	1	1	2.19000	41.187	65.0
7	2	2	0	2.09000	43.254	65.0
8	0	4	0	1.99000	45.547	100.0
9	2	0	2	1.88000	48.376	65.0
10	2	1	2	1.83000	49.787	65.0
11	1	1	3	1.74000	52.553	80.0
12	3	1	1	1.56000	59.179	30.0
13	0	5	2	1.39000	67.307	30.0
14	1	0	4	1.37000	68.425	30.0
15	1	6	1	1.25000	76.084	30.0



Name and formula

Reference code:

00-003-0596

Mineral name:

Calcite

Compound name:

Calcium Carbonate

Common name:

β -Ca CO₃

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I (%)
1	0	1	2	3.83000	23.205	30.0
2				3.34000	26.668	60.0
3	1	0	4	3.03000	29.455	100.0
4	0	0	6	2.85000	31.362	10.0
5	1	1	0	2.49000	36.041	50.0
6	1	1	3	2.29000	39.312	60.0
7	2	0	2	2.10000	43.038	50.0
8	0	2	4	1.93000	47.046	10.0
9				1.92000	47.306	60.0
10	1	1	6	1.88000	48.376	70.0
11	2	1	1	1.63000	56.403	10.0
12	1	2	2	1.61000	57.168	30.0
13	1	0	10	1.59000	57.955	10.0
14	2	1	4	1.53000	60.459	10.0
15	1	1	9	1.51000	61.345	10.0
16				1.48000	62.728	10.0
17	3	0	0	1.44000	64.678	20.0
18				1.43000	65.186	10.0
19	2	1	7	1.36000	68.999	10.0
20	0	2	10	1.34000	70.178	10.0
21				1.30000	72.675	10.0
22				1.26000	75.374	10.0
23	2	2	0	1.25000	76.084	10.0

Name and formula

Reference code:

00-004-0637

Mineral name:

Calcite

Compound name:

Calcium Carbonate

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I (%)
1	0	1	2	3.86000	23.022	40.0
2	1	0	4	3.04000	29.356	100.0
3	0	0	6	2.84000	31.475	20.0
4	1	1	0	2.50000	35.892	50.0
5	1	1	3	2.29000	39.312	60.0
6	2	0	2	2.10000	43.038	60.0
7	0	2	4	1.93000	47.046	40.0
8	0	1	8	1.91000	47.569	70.0
9	1	1	6	1.88000	48.376	70.0
10	2	1	1	1.63000	56.403	40.0
11	1	2	2	1.60000	57.559	60.0
12	1	0	10	1.59000	57.955	20.0
13	2	1	4	1.53000	60.459	50.0
14	2	0	8	1.52000	60.899	10.0
15	1	1	9	1.51000	61.345	40.0
16	1	2	5	1.47000	63.204	40.0
17				1.46000	63.687	10.0
18	3	0	0	1.44000	64.678	60.0
19	0	0	12	1.42000	65.703	50.0
20	2	1	7	1.36000	68.999	40.0
21	0	2	10	1.34000	70.178	50.0
22	1	2	8	1.30000	72.675	50.0
23	3	0	6	1.29000	73.330	10.0
24	2	2	0	1.25000	76.084	40.0
25	1	1	12	1.24000	76.809	50.0
26	2	1	10	1.18000	81.506	50.0



Name and formula

Reference code:

00-004-0844

Mineral name:

Vaterite

Compound name:

Calcium Carbonate

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I (%)
1	1	0	0	3.59000	24.780	70.0
2	1	0	1	3.29000	27.081	70.0
3	1	0	2	2.72000	32.902	60.0
4				2.31000	38.958	10.0
5	1	1	0	2.06000	43.917	100.0
6	1	1	2	1.85000	49.212	20.0
7	1	0	4	1.82000	50.079	20.0
8	2	0	2	1.64000	56.029	40.0
9	1	0	5	1.54000	60.026	20.0
10				1.47000	63.204	10.0
11				1.36000	68.999	10.0
12	2	1	2	1.28000	73.997	40.0
13	2	1	4	1.14000	85.017	10.0
14	2	0	6	1.11000	87.889	10.0

ICDD CHITOSAN

Name and formula

Reference code:

00-039-1894

Compound name:

Chitosan

Common name:

(2R,3R,4R,5S,6R)-3-amino-6-(hydroxymethyl)oxane-2,4,5-triol

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	1	6.50000	13.612	10.0
2	1	0	1	6.50000	13.612	10.0
3	1	2	0	5.83000	15.185	100.0
4	0	0	2	5.22000	16.972	10.0
5	1	2	1	5.01000	17.689	10.0
6	1	0	2	4.37000	20.305	100.0
7	0	2	2	4.37000	20.305	100.0
8	2	0	0	4.17000	21.290	100.0
9	0	4	0	4.17000	21.290	100.0
10	1	2	2	3.86000	23.022	50.0
11	1	4	0	3.72000	23.901	100.0
12	2	2	0	3.72000	23.901	100.0
13	1	4	1	3.48000	25.577	50.0
14	2	2	1	3.48000	25.577	50.0
15	0	1	3	3.40000	26.189	10.0
16	2	0	2	3.19000	27.947	20.0
17	0	4	2	3.19000	27.947	20.0
18	1	0	3	3.17000	28.127	50.0
19	0	2	3	3.17000	28.127	50.0
20	1	2	3	2.98000	29.961	70.0
21	2	4	1	2.80000	31.937	20.0
22	1	5	2	2.64000	33.929	50.0
23	3	2	0	2.64000	33.929	50.0
24	3	0	1	2.62000	34.196	50.0
25	0	6	1	2.62000	34.196	50.0
26	2	4	2	2.54000	35.308	20.0
27	1	4	3	2.51000	35.744	20.0
28	2	2	3	2.51000	35.744	20.0
29	0	2	4	2.47000	36.343	50.0
30	1	0	4	2.47000	36.343	50.0
31	1	2	4	2.37000	37.934	10.0
32	0	3	4	2.37000	37.934	10.0



D. PEAK LIST HASIL UJI XRD

1. SAMPLE C2H1K3L

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
23.1121	51.42	0.1673	3.84840	7.36
25.8881	51.85	0.1338	3.44169	7.42
27.1341	15.76	0.2007	3.28641	2.26
29.4250	698.67	0.0816	3.03305	100.00
29.5200	500.80	0.0612	3.03101	71.68
31.7922	111.01	0.2040	2.81240	15.89
32.1853	52.63	0.2448	2.77894	7.53
32.8303	65.81	0.2856	2.72580	9.42
34.0710	24.78	0.2448	2.62933	3.55
36.0461	80.90	0.1224	2.48965	11.58
39.5018	199.12	0.1224	2.27946	28.50
43.2263	242.05	0.0816	2.09128	34.64
43.3547	108.86	0.0612	2.09057	15.58



46.7135	41.56	0.1632	1.94297	5.95
47.2051	41.17	0.1224	1.92387	5.89
47.6469	55.86	0.2448	1.90706	8.00
48.5770	109.80	0.2856	1.87270	15.72
49.4538	37.90	0.2448	1.84153	5.42
50.4850	22.28	0.1632	1.80630	3.19
51.2706	17.54	0.2448	1.78046	2.51
52.1596	15.98	0.2448	1.75218	2.29
53.3153	18.35	0.2448	1.71689	2.63
56.6513	17.63	0.3264	1.62345	2.52
57.4883	41.18	0.3264	1.60179	5.89
58.3445	10.43	0.4896	1.58031	1.49
60.7710	35.71	0.1224	1.52289	5.11
61.5942	16.40	0.3264	1.50449	2.35
63.1460	15.22	0.3264	1.47120	2.18
64.0530	12.55	0.2448	1.45254	1.80



64.8203	107.92	0.1020	1.43719	15.45
69.3962	5.57	0.4896	1.35318	0.80
70.2683	6.65	0.4896	1.33850	0.95
73.0935	8.21	0.3264	1.29358	1.18
77.1728	7.97	0.4896	1.23506	1.14
81.7888	11.48	0.4896	1.17663	1.64
84.0088	23.92	0.5712	1.15110	3.42
85.0988	10.97	0.4896	1.13912	1.57

2. SAMPLE C₂H₂₄K₂₄L

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.4324	18.38	0.6691	8.47983	3.98
23.0795	76.99	0.0502	3.85376	16.65
25.9562	22.22	0.2676	3.43282	4.80
29.4333	430.43	0.0816	3.03221	93.07
29.5175	462.49	0.0502	3.02625	100.00



31.7568	55.45	0.2342	2.81778	11.99
32.9376	29.92	0.2676	2.71942	6.47
36.1134	49.71	0.1673	2.48723	10.75
39.5686	75.28	0.1673	2.27765	16.28
43.2002	28.39	0.2007	2.09422	6.14
47.5244	122.96	0.0836	1.91327	26.59
48.5517	82.27	0.0612	1.87361	17.79
48.6990	54.96	0.0836	1.86984	11.88
55.8129	5.73	0.4015	1.64720	1.24
57.5673	15.56	0.2676	1.60110	3.36
61.1800	9.22	0.8029	1.51494	1.99
64.7485	5.91	0.8029	1.43980	1.28
76.8975	3.23	0.8029	1.23982	0.70
81.6800	18.61	0.1224	1.17792	4.02
84.0130	7.68	0.4015	1.15200	1.66



3. SAMPLE C2H3K1L

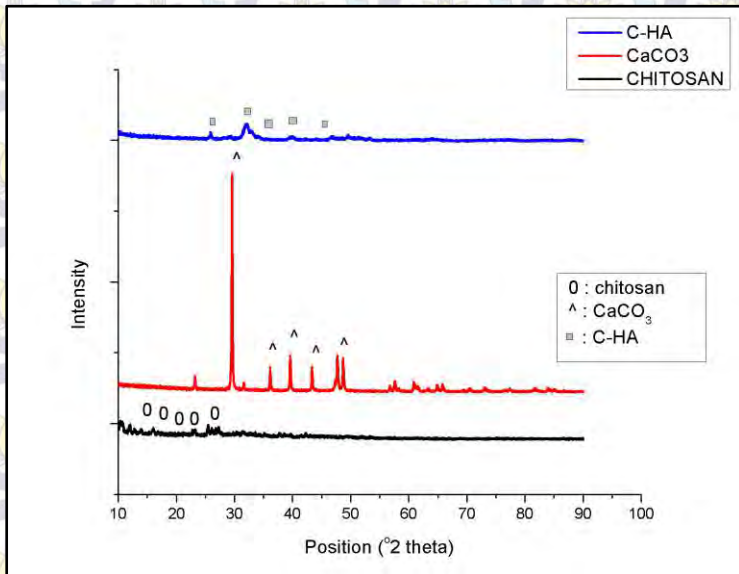
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.2713	37.36	0.2007	8.61248	7.85
11.7954	26.03	0.2007	7.50285	5.47
23.0962	75.62	0.0669	3.85101	15.88
25.2615	21.60	0.2007	3.52562	4.54
25.9001	66.79	0.1338	3.44012	14.02
29.4345	476.23	0.1506	3.03460	100.00
31.6875	136.09	0.1004	2.82379	28.58
32.1721	63.14	0.1673	2.78236	13.26
32.9019	101.59	0.0836	2.72229	21.33
34.0714	27.25	0.1338	2.63148	5.72
36.0284	113.54	0.0502	2.49290	23.84
39.4785	37.08	0.2676	2.28263	7.79
43.2069	123.36	0.0612	2.09218	25.90
46.6536	31.67	0.2007	1.94693	6.65



47.3874	19.46	0.2676	1.91848	4.09
48.5140	62.68	0.1673	1.87653	13.16
49.4672	25.61	0.1338	1.84258	5.38
53.2101	12.38	0.2007	1.72146	2.60
60.7569	9.53	0.4015	1.52447	2.00
62.9505	5.78	0.6691	1.47652	1.21
65.6462	30.38	0.0816	1.42109	6.38
73.7029	3.38	0.8029	1.28545	0.71
77.1989	5.34	0.4015	1.23573	1.12
84.0574	5.74	0.4015	1.15151	1.21

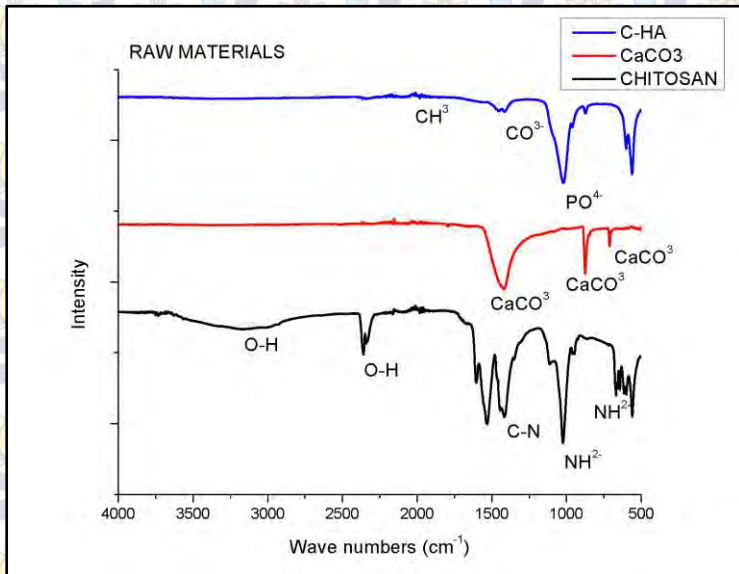


E. XRD RAW MATERIAL





F. FTIR RAW MATERIAL





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Tutut Ummul Habibah. Penulis lahir di Jombang, 09 Agustus 1992. Penulis adalah anak kedua dari dua bersaudara pasangan Anton S. dan S. Rohmah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Dapurkejambon III (1999-2005), SMPN 1 Jombang (2005-2008), SMAN 3 Jombang (2008-2011) dan diterima di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP 2711 100 087.

Tugas akhir yang diambil penulis dalam bidang material inovatif adalah **“Alternatif Baru Pengembangan Material Semen Tulang/Bone Cement [CH-(C-HA)-CaCO₃-MMA] Hasil Daur Ulang Limbah Organik”**.

Tutut Ummul Habibah
habibahtutut@gmail.com
08563370137